Efecto de la liofilización en el secado, características físicas y rehidratación de la pulpa de tres morfotipos de aguaje (Mauritia flexuosa L.f)

por Erick-eduardo Huertas Flores

Fecha de entrega: 19-dic-2022 09:17a.m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 1984492639
Nombre del archivo: DE_LA_LIOFILIZACION_EN_LA_CINETICA_-_ERICK_HUERTAS_imprimir.docx (7.32M)
Total de palabras: 19562
Total de caracteres: 105250

Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN TARAPOTO - PERU

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución – 4.0 Internacional (CC BY 4.0)
Vea una copia de esta licencia en https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es

Obra publicada con autorización del autor

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA TESIS A NIVEL DE PREGRADO 2014

Efecto de la liofilización en el secado, características físicas y rehidratación de la pulpa de tres morfotipos de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f)

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial

AUTOR:

Erick Eduardo Huertas Flores

ASESOR:

Ing. Pesq. Dra. Mari Luz Medina Vivanco

Tarapoto – Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA TESIS A NIVEL DE PREGRADO 2014

Efecto de la liofilización en el secado, características físicas y rehidratación de la pulpa de tres morfotipos de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f*)

AUTOR:

Erick Eduardo Huertas Flores

Sustentada y aprobada el día 28 de agosto del 2019, por los siguientes jurados:

Ing. Dr. Oscar W. Mendieta Taboada Presidente	Ing. M. Sc. Enrique Terleira García Secretario
Ing. M. Sc. Víctor Chappa Santa María Miembro	Ing. Dra. Mari Luz Medina Vivanco Asesor

Dedicatoria

A Dios por darme la fuerza y la salud para poder concluir con esta etapa de mi vida profesional. Porque sabemos que el camino no es fácil, pero lo más importante es nunca rendirse.

A mi tía Rosa Victoria, por estar presente durante toda mi vida, por su paciencia, su cariño. Porque para ella soy como un hijo y de tal manera me apoyó durante todos estos años; y a mi hermana Sandra, que en este tiempo se ha convertido en un motivo más para seguir adelante.

A mi abuela Laura Ofelia y mi madre Linda Elizabeth que sé que desde el cielo cuidan de mí y me dan la fuerza para continuar cada día.

A mis amigos y hermanos: Linda, Carolina, Milagros, Kathy y Delfín porque de una u otra manera siempre han estado conmigo. Porque ellos son como la familia que tuve la posibilidad de elegir.

A ti, por estar a mi lado, por haber llegado a mi vida, por tu apoyo y por ayudarme a seguir y a ser mejor cada día.

Agradecimiento

Al **Instituto de Investigación y Desarrollo (IID) de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto** por el apoyo y el financiamiento integral para la ejecución del presente trabajo de investigación.

A mi padre José Huertas, por su apoyo durante la ejecución del presente trabajo y durante mis años de estudio.

Al Ing. Dra. Mari Luz Medina Vivanco, mi asesora, por haber aceptado este reto junto con mí persona y brindarme siempre sus conocimientos, su apoyo y sus recomendaciones durante la ejecución y redacción del presente trabajo de investigación.

Al laboratorio de Sustancias Naturales Bioactivas y al Laboratorio de Biotecnología del Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana (IIAP- Iquitos) y a todas las buenas personas que laboran en ellos por todo su apoyo y colaboración durante la ejecución del presente proyecto.

Al Sr. Walter Lozano, a la Sra. Dolly Flores y al Sr. Guido Saavedra, técnicos de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial por ayuda durante la ejecución de la parte experimental del presente proyecto.

A mis docentes de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, que de una u otra manera me apoyaron durante la ejecución del presente trabajo.

A mis amigos y compañeros, por su apoyo, motivación y sugerencias, que me sirvieron de mucho durante este proceso.

A todos y cada uno de ustedes…

¡MUCHÍSIMAS GRACIAS!

Índice general

		Pág.
	Introducción…….…….…….....	1
	Objetivo General……..	2
	Objetivos Específicos……..	2
I.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFÍCA……..	3
	1.1. Taxonomía de la Planta……..	3
	1.2. Descripción……...	3
	1.3. Distribución, ecología y edafología……...	4
	1.4. Producción y cosecha……	5
	1.5. Utilización……	5
	1.5.1. Fruto……...	5
	1.5.2. Otras partes del fruto……..	6
	1.6. Tecnología de la cosecha y postcosecha……	6
	1.7. Producción y rendimiento…….....	7
	1.8. Conservación y valor nutritivo del fruto……	7
	1.9. Minerales y micronutrientes que se encuentran presentes en el fruto……	8
	1.10. Generalidades del proceso de liofilización…….....	10
	1.11. Secado y deshidratación…….....	10
	1.12. Liofilización……..	11
	1.13. Operaciones unitarias en la liofilización…….....	12
	1.13.1. Operación unitaria……...	12
	1.13.2. Proceso químico……	12
	1.13.3. Proceso/Operaciones……..	12
	1.13.4. Ciclo de liofilización……..	13
	1.13.5. Congelación del producto……..	13
	1.13.6. Transferencia de masa y de calor en la liofilización……..	13
	1.14. Medida del color…….....	15

1.14.1. Espacio CIELAB……..... 15

1.15. Rehidratación……..... 18

1.16. Ubicación geográfica y obtención de la muestra…… 18

II. MATERIALES Y MÉTODOS…….... 20

2.1. Lugar de ejecución……..……..……..……..... 20

2.2. Materiales y equipos…..……..……..... 20

2.3. Reactivos y disolventes……..…… 20

2.4. Metodología……..……..……..... 21

2.4.1. Obtención de la materia prima (aguaje)……..…….. 21

2.4.2. Caracterización de la materia prima y determinación de las propiedades físicas……..... 22

2.4.3. Liofilización……..……..... 24

2.4.4. Evaluación de la cinética de secado…… 24

2.4.5. Determinación de la capacidad de rehidratación……..... 26

2.4.6. Caracterización del producto final y determinación de las propiedades físicas……..... 27

2.5. Diseño experimental…… 29

2.5.1. Variables…… 29

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN…….……..... 30

3.1. Caracterización de la materia prima..…..…….. 30

3.1.1. Caracterización de la pulpa fresca…….. 30

3.1.2. Densidad…… 31

3.1.3. Porosidad……... 32

3.1.4. Color…….. 32

3.1.5. Determinación de vitamina A…… 33

3.2. Proceso de liofilización……..…….. 33

3.3. Cinética de secado…… 35

3.3.1. Curvas de secado…… 35

3.3.2. Velocidad de secado…….. 43

3.3.3. Predicciones matemáticas para la cinética de secado..... 44

3.4. Capacidad de rehidratación……..……..... 50

3.5. Caracterización del producto final……..... 53

3.5.1. Caracterización de la pulpa liofilizada……... 53

3.5.2. Densidad……..... 55

3.5.3. Porosidad……... 56

3.5.4. Color…….. 56

3.5.5. Determinación de vitamina A…… 60

CONCLUSIONES……..……..……... 62

RECOMENDACIONES…… 63

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS……..…..…… 64

ANEXOS……..…….. 69

A. Tablas……..…..... 70

B. Imágenes…… 85

Índice de tablas

Pág.

1. Distribución de las plantaciones de aguajales en el ámbito de la Selva del Perú…….. 7
2. Composición de la pulpa de aguaje por cada 100 g……..…….. 8
3. Valor nutricional de minerales encontrados en tres morfotipos de la pulpa fresca de aguaje (*Mauritia flexuosa* L. f)…….. 9
4. Concentración de β- caroteno y α- tocoferol de los morfotipos color, amarillo y shambo…….. 10
5. Características climatológicas y tipos de suelo en el distrito de Caynarachi…… 18
6. pH y acidez de la pulpa fresca de aguaje…..…….. 30
7. Análisis proximal de la pulpa fresca de aguaje…..…….. 30
8. Comparación del análisis proximal de la pulpa fresca de aguaje con los resultados de Luján (2010)…….. 31
9. Densidad aparente y compactada de la pulpa fresca de tres morfotipos de aguaje. 31
10. Porosidad de la pulpa fresca de tres morfotipos de aguaje…….. 32
11. Evaluación del color de la pulpa fresca de tres morfotipos de aguaje…… 32
12. Determinación de vitamina A en forma de β-Caroteno y Retinol de la pulpa fresca de aguaje…….. 33
13. Rendimiento de la pulpa fresca y liofilizada de aguaje…….. 34
14. Parámetros cinéticos obtenidos tras el ajuste de los datos experimentales a los dos modelos: modelo de Difusividad de Fick (D_e) y modelo de Page (k, n), y la tendencia o grado de ajuste (R^2)…….. 45
15. Fuerza impulsora determinada experimentalmente del morfotipo “Shambo” a 0.101 mbar…….. 47
16. Fuerza impulsora determinada matemáticamente aplicando el Modelo de Page, del morfotipo “Shambo” a 0.101 mbar…….. 48

17. Capacidad de rehidratación de tres morfotipos de aguaje liofilizado tratado en tres condiciones de procesos diferentes…… 51

18. pH y acidez de la pulpa de aguaje liofilizada a 0.101 mb y -59º C…… 53

19. Análisis proximal de la pulpa de aguaje liofilizada a 0.101 mb y -59º C…… 54

20. Densidad aparente y compactada de la pulpa liofilizada de tres morfotipos de aguaje…….... 55

21. Porosidad de la pulpa liofilizada de tres morfotipos de aguaje..... 56

22. Evaluación del color de la pulpa liofilizada de tres morfotipos de aguaje……. 56

23. Influencia de las condiciones y la morfotipo en los valores de Color…….. 57

24. Determinación de vitamina A en forma de β-Caroteno y Retinol de la pulpa liofilizada de aguaje a 0.101 mbar……..…….. 60

Índice de figuras

		Pág.
1.	Procesos/operaciones que se dan en la liofilización……	12
2.	Ciclo que presenta un producto en la liofilización……	13
3.	Balance de masa y de calor que se ejecuta en liofilización……	14
4.	Espacio de color CIELAB..……..	16
5.	Coordenadas cilíndricas del espacio CIELAB…….....	17
6.	Etapas del proceso de investigación durante la ejecución del proyecto de tesis…….	18
7.	Evaluación del color en la pulpa fresca de tres morfotipos de aguaje……	32
8.	Curva de secado a 0.101 mbar……..…….....	35
9.	Velocidad de secado Vs. Humedad media a 0.101 mbar……..……..	36
10.	Curva de secado a 0.501 mbar……..……..……..……...	36
11.	Velocidad de secado Vs. Humedad media a 0.501 mbar……..……..	37
12.	Curva de secado a 1.03 mbar……..……..…….....	38
13.	Velocidad de secado Vs. Humedad media a 1.03 mbar……..……	39
14.	Curva de secado del morfotipo “Amarillo” a distintas condiciones de proceso……...	40
15.	Curva de secado del morfotipo “Color” a distintas condiciones de proceso……	40
16.	Curva de secado del morfotipo “Shambo” a distintas condiciones de proceso……	41
17.	Velocidad de secado Vs. Humedad media del morfotipo “Amarillo”……..……..	41
18.	Velocidad de secado Vs. Humedad media del morfotipo “Color”……...	42
19.	Velocidad de secado Vs. Humedad media del morfotipo “Shambo”……...	42
20.	Fuerza impulsora Vs. Tiempo del morfotipo “Amarillo” a 0.101 mbar……...	46
21.	Fuerza impulsora Vs. Tiempo del morfotipo “Color” a 0.101 mbar…….....	46
22.	Fuerza Impulsora Vs. El tiempo representadas matemática y experimentalmente del morfotipo “Shambo” a 0.101 mbar…….....	48
23.	Figura de superficie respuesta a 30º C……..……	52
24.	Figura de superficie respuesta a 40º C……..……	52
25.	Figura de superficie respuesta a 50º C……..……	52
26.	Figura de superficie respuesta para densidad en función de presión y morfotipo.....	55
27.	Figura de superficie respuesta para porosidad en función de presión y morfotipo…...	56
28.	Evaluación del color en la pulpa liofilizada de tres morfotipos de aguaje…….....	57
29.	Figura de superficie respuesta para L en función de presión y morfotipo……	58
30.	Figura de superficie respuesta para a* en función de presión y morfotipo……..	58

31. Figura de superficie respuesta para b* en función de presión y morfotipo…….. 59
32. Valores de β-Carotenos en la pulpa fresca y liofilizada…….. 60
33. Valores de Retinol en la pulpa fresca y liofilizada…….. 61

Anexos

Pág.

A1. Pérdida de peso de la pulpa de aguaje a 0.101 mbar…….…….. 70

A2. Pérdida de peso de la pulpa de aguaje a 0.501 mbar…….…… 71

A3. Pérdida de peso de la pulpa de aguaje a 1.03 mbar……..... 72

A4. Datos para la determinación de los parámetros de secado por liofilización del aguaje del morfotipo "Amarillo"…….. 73

A5. Datos para la determinación de los parámetros de secado por liofilización del aguaje del morfotipo "Color"…….…….... 73

A6. Datos para la determinación de los parámetros de secado por liofilización del aguaje del morfotipo "Shambo"…….. 73

A7. Cinética de secado de la pulpa de aguaje del morfotipo “Amarillo” a 0.101 mbar. 73

A8. Cinética de secado de la pulpa de aguaje del morfotipo “Color” a 0.101 mbar..... 74

A9. Cinética de secado de la pulpa de aguaje del morfotipo “Shambo” a 0.101 mbar.. 74

A10. Cinética de secado de la pulpa de aguaje del morfotipo “Amarillo” a 0.501 mbar. 75

A11. Cinética de secado de la pulpa de aguaje del morfotipo “Color” a 0.501 mbar..... 76

A12. Cinética de secado de la pulpa de aguaje del morfotipo “Shambo” a 0.501 mbar.. 77

A13. Cinética de secado de la pulpa de aguaje del morfotipo “Amarillo” a 1.03 mbar... 78

A14. Cinética de secado de la pulpa de aguaje del morfotipo “Color” a 1.03 mbar…... 79

A15. Cinética de secado de la pulpa de aguaje del morfotipo “Shambo” a 1.03 mbar.... 80

A16. Anova de la densidad de la pulpa liofilizada para tres morfotipos……..... 81

A17. Efectos estimados de la densidad de la pulpa liofilizada para tres morfotipos……..... 81

A18. Anova de la porosidad de la pulpa liofilizada para tres morfotipos……..... 81

A19. Efectos estimados de la porosidad de la pulpa liofilizada para tres morfotipos……..... 81

A20. Anova de la Luminosidad (L) de la pulpa liofilizada para tres morfotipos…… 82

A21. Efectos estimados de la Luminosidad (L) de la pulpa liofilizada para tres morfotipos…… 82

A22. Anova de la tendencia al rojo (a*) de la pulpa liofilizada para tres morfotipos……..... 82

A23. Efectos estimados de la tendencia al rojo (a*) de la pulpa liofilizada para tres morfotipos..... 82
A24. Anova de la tendencia al verde (b*) de la pulpa liofilizada para tres morfotipos..... 83
A25. Efectos estimados de la tendencia al verde (b*) de la pulpa liofilizada para tres morfotipos..... 83
A26. Anova de la rehidratación a tres temperaturas de la pulpa liofilizada para tres morfotipos..... 83
A27. Efectos estimados de la rehidratación a tres temperaturas de la pulpa liofilizada para tres morfotipos..... 84
B1. Fruto de aguaje de variedad "amarillo"..... 85
B2. Fruto de aguaje de variedad "color"..... 85
B3. Fruto de aguaje de variedad "shambo"..... 86
B4. Pulpa de aguaje congelada morfotipo "Amarillo"..... 86
B5. Pulpa de aguaje congelada morfotipo "Color"..... 86
B6. Pulpa de aguaje congelada morfotipo "Shambo"..... 87
B7. Pulpa de aguaje Liofilizada morfotipo "Amarillo"..... 87
B8. Pulpa de aguaje Liofilizada morfotipo "Color"..... 87
B9. Pulpa de aguaje Liofilizada morfotipo "Shambo"..... 87

Resumen

El aguaje (*Mauritia flexuosa L.f*) es una especie nativa amazónica que posee una gran cantidad de vitamina A y pigmentos como los carotenoides. El objetivo de la presente tesis fue evaluar la influencia de las condiciones de liofilización (presión) en la cinética de secado, en las características físicas (densidad, porosidad y color) y en la rehidratación de la pulpa liofilizada de tres morfotipos de aguaje: Amarillo, Color y Shambo. Los frutos maduros de los tres morfotipos de aguaje fueron ablandados en agua a 65ºC durante 35 minutos, para la extracción de la pulpa fresca; luego fue congelada a -20º C, en moldes con dimensiones de 3.25 cm de largo, 2.35 cm de ancho y 1.0 cm de espesor. Éstas fueron sometidas a 0.1, 0.5 y 1.0 mbar de presión. Se evaluó la cinética de secado durante el proceso, retirando y pesando las muestras a intervalos de tiempo crecientes; la cinética de secado indicó que a menor presión, menor es el tiempo en el que tardará la pulpa de aguaje en llegar a la humedad de equilibrio. Se aplicaron dos modelos matemáticos para la evaluación de la cinética de secado: el Modelo de Difusividad de Fick y el Modelo de Page, siendo este último el que se ajustó mejor a los datos experimentales con un R^2 de 0.9953. La densidad aparente y compactada en la pulpa liofilizada fueron de 0.4420 g/cm^3 y 0.5976 g/cm^3 respectivamente. La porosidad en la pulpa liofilizada varió entre 0.15 y 0.18 dependiendo del morfotipo. En la evaluación del color, la luminosidad aumentó, la tendencia al rojo y al verde disminuyeron después del proceso de liofilización. La capacidad de rehidratación de la pulpa liofilizada resultó mayor a mayor temperatura del medio rehidratante. La cantidad de vitaminas evaluadas (β-carotenos y retinol) mostró disminución después del proceso de liofilización.

Palabras clave: Aguaje, *Mauritia flexuosa*, liofilización, cinética de secado.

Abstract

The aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f) is a native Amazonian species that possesses a large amount of vitamin A and pigments such as carotenoids. The objective of this thesis was to evaluate the influence of lyophilization conditions (pressure) on drying kinetics, physical characteristics (density, porosity and color) and rehydration of lyophilized pulp of three morphotypes of aguaje: "Amarillo", "Color" and "Shambo". The ripe fruits of the three morphotypes of aguaje were softened in water at 65ºC for 35 minutes to extract the fresh pulp, which was then frozen at -20ºC in molds measuring 3.25 cm long, 2.35 cm wide and 1.0 cm thick. These were subjected to 0.1, 0.5 and 1.0 mbar of pressure. The drying kinetics were evaluated during the process by removing and weighing the samples at increasing time intervals; the drying kinetics indicated that the lower the pressure, the shorter the time it will take for the aguaje pulp to reach equilibrium moisture. Two mathematical models were applied for the evaluation of the drying kinetics: the Fick Diffusivity Model and the Page Model, the latter being the best fit to the experimental data with an R2 of 0.9953. Bulk and compacted density in the freeze-dried pulp were 0.4420 g/cm3 and 0.5976 g/cm3 respectively. The porosity in the freeze-dried pulp varied between 0.15 and 0.18 depending on the morphotype. In the color evaluation, the brightness increased, the tendency to red and green decreased after the lyophilization process. The rehydration capacity of the lyophilized pulp was higher at higher temperatures of the rehydrating medium. The amount of vitamins evaluated (β-carotene and retinol) showed a decrease after the lyophilization process.

Keywords: Aguaje, *Mauritia flexuosa*, lyophilization, drying kinetics.

Introducción

La palmera del aguaje (*Mauritia flexuosa L.f*) es una especie originaria de la Amazonía que probablemente se desarrolló en las cuencas de los ríos Marañón, Huallaga y Ucayali en el Perú, tiene amplia distribución sobre la cuenca amazónica en Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Venezuela y Guayana. Dentro de la selva del Perú, se explotan poblaciones cultivadas de manera natural en los departamentos de Loreto, San Martín, Ucayali y Huánuco como lo menciona el Tratado De Cooperación Amazónica (1997).

Dentro de su composición, el fruto del aguaje posee proteínas, grasas, carbohidratos, fibra, calcio, fósforo, fierro, una gran cantidad de vitamina A y pigmentos como los carotenoides a los que debe su coloración.

En la Amazonía, tradicionalmente se conocen tres tipos de aguaje los cuales se caracterizaron tomando como base la clasificación propuesta por Villachica (1996); de tal forma clasificamos nuestras muestras según las características que menciona este autor; siendo el morfotipo "amarillo o ponguete", con mesocarpio de color amarillo; el morfotipo "color", que posee la parte interna del mesocarpio de color amarillo y la parte superficial de color rojo; y el morfotipo "shambo", con el mesocarpio de color rojo.

Se conoce que actualmente es posible obtener pulpas congeladas, concentradas y deshidratadas de diversos vegetales y frutos como el camu camu, como lo menciona Vasquez (2000); esto hace prever que es posible obtener pulpa liofilizada, atomizada y/o refinada entre otros productos del aguaje con un gran valor.

Para tal fin, la liofilización es uno de los procesos más óptimos que, al producir la deshidratación por sublimación, dentro de condiciones controladas cuidadosamente en lo que refiere a presión y temperatura, dando como resultado una estructura que puede revertirse al estado previo, solo con la adición de agua como lo manifiesta Amos (1986).

Los procedimientos tecnológicos son primordiales para mantener el contenido de vitaminas en la pulpa de aguaje, así como para evitar la degradación de la pro vitamina A y su disminución por el mayor tiempo posible, ya que según Belitz (1982) esta vitamina es considerada muy susceptible a deteriorarse fácilmente por acción de la luz, temperatura, cambios de pH u oxidación.

Por tal motivo se estudió cómo influyen las condiciones de deshidratación (presión) en las propiedades físicas, el tiempo de proceso y en la rehidratación de la pulpa del aguaje, buscando obtener un producto de buena calidad y menores costos de proceso.

El producto liofilizado debió contar con una baja humedad y con un alto potencial de rehidratación que pueda conservarse por mucho tiempo, para poder ser utilizado posteriormente.

Además, se pretendió despertar el interés en este fruto nativo con grandes cualidades, que estamos seguros dentro de muy poco tiempo será conocido y altamente demandado por diversos mercados nacionales e internacionales.

En tal sentido, la presente tesis se planteó los siguientes objetivos:

Objetivo General: Evaluar la influencia de las condiciones de liofilización (presión) en la cinética de secado, en las características físicas (densidad, porosidad y color) y en la rehidratación de la pulpa liofilizada de tres morfotipos de aguaje (M*auritia flexuos*a *L.f.*).

Objetivos Específicos:

1. Conocer la cinética de secado a diferentes condiciones de proceso (presión, 0.1-1mb) durante la liofilización de la pulpa de tres morfotipos de aguaje.
2. Determinar las propiedades físicas (densidad, porosidad y color) de la pulpa liofilizada a diferentes condiciones de presión en tres morfotipos de aguaje.
3. Determinar los efectos del proceso de liofilización en la conservación de la Provitamina A presente en la pulpa de aguaje.
4. Evaluar la influencia del morfotipo (amarillo, color y shambo) y de las condiciones de proceso (presión, 0.1-1mb) en la rehidratación de la pulpa liofilizada de aguaje.

CAPÍTULO I
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Taxonomía de la planta

Linneo (1981), citado por Lujan (2010) clasifica taxonómicamente el Aguaje (*Mauritia flexuosa L.f*) de la siguiente manera:

Reino : Vegetal
División : Magnoliophyta
Clase : Liliopsida
Orden : Arecales
Familia : Arecaceae
Sub Familia : Calamaoideae
Tribu : Lepidocaryeae
Género : Mauritia
Especie : Mauritia flexuosa L.f.
Nombre Científico : *Mauritia flexuosa* L. F.
Nombre Común : Aguaje, achual (Perú); Caranday-guazu, ideuí (Bolivia); Buriti, buritί-do-brejo, miriti, buritirana (Brasil); Canangucha, moriche, aguaje, miritί (Colombia); Moriche (Venezuela).
Sinónimos erróneos : *Mauritia vinífera* Mart.

1.2. Descripción

"El aguaje es una palmera polígama dioica (palmas con flores femeninas, masculinas o bisexuales), tiene una copa esférica, y en condiciones naturales puede alcanzar una altura de 35 m. El tallo o estípite esta coronado por un penacho de 20 - 25 hojas palmadas que en conjunto forman una capa semi-esférica; es recto, liso, columnar con DAP 30-60 cm. Las raíces primarias profundizan hasta 60 cm y luego desarrollan horizontalmente hasta 40 m, tienen raíces secundarias aeríferas o neumatóforos que le permiten respirar a las raíces en condiciones hidromorfas. Las hojas son compuestas, flabeladas, de 5-6 m de longitud, agrupadas en número de 10-20 en la parte terminal del tallo formando la copa; la lámina tiene 80-90 cm de diámetro y se prolonga en el pecíolo; el haz

es verde oscuro y el envés verde claro; el peciolo es profundamente acanalado, verde oscuro y puede alcanzar hasta 4 m de largo. Las inflorescencias masculina y femenina son interfoliares, iguales en tamaño y forma, de 2-3 m de largo; las flores masculinas miden 10x7 mm en la yema y la flor femenina mide 2 mm de largo" (Tratado de Cooperación Amazónica, 1997).

"El fruto es una drupa, subglobosa o elíptica, mide 5-7 cm de longitud y 4-5 cm de diámetro, el peso varía 40-85 g; el epicarpo es escamoso de color pardo a rojo oscuro; el mesocarpo suave, amiláceo, de color amarillo, anaranjado o anaranjado rojizo, de sabor agridulce y de consistencia amilácea, tiene un espesor de 4-6 mm y constituye entre el 10-21% del fruto; el endocarpo es una lámina delgada de color blanco. La semilla, 1-2 por fruto, es subglobosa, sólida y con albumen blanco; constituye el 40-44,5% del fruto" (Tratado de Cooperación Amazónica, 1997).

1.3. Distribución, ecología y edafología

"El Aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f), es una de las palmeras más abundantes en Sudamérica; se distribuye en el occidente por Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia; y hacia el oriente – a través de las cuencas del Amazonas y del Orinoco por Venezuela, las Guyanas, Trinidad y los estados brasileños de Bahía, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais y Sao Paulo.

En la selva peruana, se cultiva y explotan poblaciones naturales en los departamentos de Loreto, Ucayali, Huánuco y San Martín. Aunque, crece a baja altitud, puede ser encontrado ocasionalmente en las faldas de los andes orientales, hasta los mil metros de altitud" (Calzada ,1980).

"El aguaje, también llamado buriti, en Brasil y moriché, en Colombia y Venezuela, fue la primera palmera amazónica descrita por la ciencia" (Acero, 1979). "Actualmente, es considerada como una planta promisoria, que puede mejorar la calidad de vida de los hombres y mujeres que viven en la Amazonía. El hábitat natural del aguaje, está formado por pantanos y zonas de drenaje pobre, donde predominan los suelos permanente o temporalmente inundados" (Castro, 1993).

"El hábitat natural del aguaje está formado por pantanos y zonas con mal drenaje en la Amazonía donde predominan los suelos, permanentemente o temporalmente, inundados. Crece en ecosistemas típicos denominados

'aguajales', donde los nativos de la Amazonía peruana distinguen dos tipos de ecosistemas: una formación mixta de aguaje con ungurahui (*Oenocarpus bataua*), llamada 'sacha aguajal' y una formación casi pura de aguaje, llamada 'aguajal' (IIAP, 2010).

1.4. Producción y cosecha

"La fructificación del aguaje se inicia entre los 7-8 años después de la plantación, cuando las plantas alcanzan una altura de 6- 7 m; aunque han sido observadas plantas de menor porte que iniciaron la fructificación a partir del cuarto año. La fructificación aparentemente ocurre todo el año, con mayores concentraciones entre los meses de febrero- agosto y relativa escasez los meses de setiembre-noviembre".

"El momento óptimo de cosecha del racimo, es cuando los frutos adquieren una coloración marrón más intenso y los frutos se desgajan fácilmente. La cosecha del fruto en los sistemas naturales sin manejo, es de la planta derribada; y en sistemas manejados, se utilizan subidores o plantas de apoyo para alcanzar los racimos y cortar con machete, también se utilizan varas largas provistas de ganchos que desgajan los racimos y los frutos se recolectan manualmente del suelo".

"La producción en sistemas naturales se estima en 6,1 t/ha en el Perú y 9,1 t/ha en Colombia; bajo cultivo, en plantaciones de monocultivo de 100 palmas/ha, se obtiene 19 t/ha con promedio de 190 kg/planta" (Tratado de Cooperación Amazónica, 1997).

1.5. Utilización

1.5.1. Fruto

El uso principal del fruto es en alimentación directa humana. El fruto maduro se ablanda en agua, las escamas se eliminan y se extrae el mesocarpo. Las bebidas de aguaje se preparan diluyendo el mesocarpo, en agua con azúcar o sometiendo a fermentación; el mesocarpo también puede deshidratarse y reconstituirse para bebidas. El consumo tradicional del aguaje, es masticando directamente el mesocarpo del fruto. Otros productos que se obtienen del mesocarpo son harinas y aceite (Tratado de Cooperación Amazónica, 1997).

1.5.2. Otras partes de la planta

El aguaje es una especie de uso múltiple. De las hojas se obtienen fibras para uso doméstico y artesanía; las hojas se usan directamente en el techado de viviendas rústicas; del pecíolo se obtiene pulpa para papel. Las inflorescencias jóvenes se cortan o amarran para colectar savia dulce que se consume directamente fermentado como bebida alcohólica o se hierve para obtener azúcar. El estípite o tallo se utiliza como puente, y "batido" como piso o separador de ambientes o como cerco muerto. De la médula del tronco se obtiene harina comestible casi puro almidón; en las palmas caídas o tumbadas y en pudrición proliferan "suris" *(Rhvnchoporus palmaruni)* que se consumen crudos, asados o cocinados. Del meristema terminal, se obtiene palmito (Tratado de Cooperación Amazónica, 1997).

1.6. Tecnología de la cosecha y postcosecha

La cosecha del aguaje comienza a los 7 u 8 años después de la germinación y se realiza en forma continuada durante 40 ó 50 años; y a partir de este momento empieza a decrecer la producción. Los frutos deben cosecharse antes de completar su total maduración, porque caen de la inflorescencia y se deterioran rápidamente; además, cosechados antes de la madurez de consumo, pueden transportarse sin dificultades. En este caso, la recolección se efectúa cuando los frutos del extremo inferior del racimo empiezan a ponerse oscuros (Villachica, 1996; y Calzada, 1980).

En la Amazonia se observan frutos que difieren en su color y espesor del mesocarpio; los frutos con pulpa rojiza y sabor más agradable son denominados con el término regional de "shambo", los que tienen pulpa amarilla como "ponguete" y los ecotipos con mesocarpio grueso se denominan "aguaje carnoso" (Mejía y Luna, 1993).

En la zona de Tingo María y Tocache, la floración empieza en los meses de agosto a octubre, su polinización de noviembre a diciembre, presentando estructuras características del fruto en los meses de enero a febrero. A partir de esta fecha se desarrolla el ñuto estando en condiciones para la cosecha en los meses de Junio a Diciembre, según el desarrollo de éstos (Moreno, 1991).

La fructificación del aguaje se produce normalmente una vez alano durante los meses húmedos, pero hay frutos a lo largo de casi todo el año (FAO, 1987).

1.7. Producción y rendimiento

En la selva del Perú existen 1 053 240 ha de aguajales puros, distribuidos en las regiones de Lotero, San Martín, Madre de Dios y Huánuco (Malleux, 1975 citado por Navarro, 2001), tal como se aprecia en la Tabla 1.

Tabla 1

Distribución de las plantaciones de aguajales en el ámbito de la Selva del Perú.

UNIDAD AGRARIA	HECTÁREAS (has)
Loreto	987 12796
Madre de Dios	43 199
San Martín	18 854
Huánuco	3 691
TOTAL	**1 053 240**

Fuente: Navarro, 2001.

Dentro de las aéreas pantanosas existen aproximadamente un 30% de áreas con pequeñas agrupaciones de aguajales los que conforman una superficie de 1 100 000 ha, estimándose un total de 2 153 240 ha de aguajales en la amazonia peruana (FAO, 1987)

Investigaciones realizadas en el año de 1967 por la Unidad Técnica de Capacitación del Ministerio de Agricultura - Aucayacu (Departamento de Huánuco), indican que el rendimiento obtenido para una masa forestal promedio de 351 palmeras/ha, arrojó un total de 19 000 kg/ha/año (Alegría, 1984).

Según el Anuario de Estadística Agrícola del Ministerio de Agricultura del Perú, citado por Alegria (1984), establece que en el año 1982, hubo entre los departamentos de Loreto, San Martín y Huánuco una superficie técnicamente explotada de 609 ha, arrojando una producción total de 10 025 ton.

Si se considera 300 plantas/ha y productivas sólo 150, y si cada árbol produce 125 kg aproximadamente, se estima una producción de 18 t/ha, lo que arrojaría un volumen total de frutos de 4 031 250 t/año (Navarro, 2001).

1.8. Conservación y valor nutritivo del fruto

Los frutos del aguaje son perecibles, cuando están maduros pueden conservarse sin deterioro hasta 7 días después de la cosecha. El mesocarpo preparado en pasta puede conservarse en refrigeración o congelamiento; puede también deshidratarse y reconstituirse en bebidas.

La pulpa del aguaje, es uno de los alimentos más nutritivo de los frutos del trópico (Tratado de Cooperación Amazónica, 1997).

Tomando el análisis químico y la determinación del valor nutritivo de la pulpa de aguaje realizado por diversos autores en años anteriores, se realizó un análisis comparativo en la Tabla 2, el cual es el siguiente:

Tabla 2

Composición de la pulpa de aguaje por cada 100 g.

	TRATADO DE COOPERACIÓN AMAZÓNICA	FAO	ALTMAN	LEUNG Y FLORES
Año	1997	1987	1964	1961
Valor energético (cal)	283,0	-	-	265,0
Humedad (%)	53,6		68,0	72,8
Proteínas (g)	3,0	5,5	5,2	3,0
Grasas (g)	21,1	31,0	26,2	10,5
Carbohidratos	18,1	-	-	-
Fibra (g)	10,4	23,0	27,5	11,4
Ceniza (g)	0,9	2,4	2,9	1,2
Calcio (mg)	74,0	-	-	-
Fósforo (mg)	27,0	-	-	-
Fierro (mg)	0,7	-	-	-
Vitamina A (mg)	1062,0	30,0	-	-
Tiamina (mg)	0,12	0,1	-	-
Riboflavina (mg)	0,17	-	-	-
Niacina (mg)	0,30	-	-	-
Vitamina C (mg)	26,0	52,5	-	-

Fuente: Villachica, 1996.

1.9. Minerales y micronutrientes que se encuentran presentes en el fruto

Los nutrientes, son compuestos que forman parte de los alimentos, los obtenemos por medio del proceso de la digestión y son importantes para un correcto funcionamiento de nuestro metabolismo. Los nutrientes se clasifican en: "macronutrientes" (proteínas, lípidos, hidratos de carbono), aquellos que se encuentran en mayor proporción en los alimentos y que además nuestro organismo necesita en cantidades mayores, y "micronutrientes" (vitaminas y minerales), que se encuentran en concentraciones mucho menores en los alimentos y de los que también el organismo necesita cantidades menores para su funcionamiento. Los minerales, son micronutrientes inorgánicos que el

cuerpo necesita en cantidades o dosis muy pequeñas; entre todos los minerales suman unos pocos gramos, pero, son tan importantes como las vitaminas, y sin ellos nuestro organismo no podría realizar las amplias funciones metabólicas que realizamos a diario, la síntesis de hormonas o elaboración de los tejidos. Constituyen sólo el cinco por ciento de la masa corporal y de los 28 existentes sólo una docena es considerada esencial (Kirk et al., 1996).

Los micronutrientes, clásicamente considerados como compuestos esenciales para la vida humana, comprenden 13 vitaminas y unos 16 minerales. Tanto vitaminas como minerales no son sintetizados por el organismo humano (o en algunos casos sí pero en cantidades insuficientes), por lo tanto, depende de la alimentación para obtenerlos, siendo en general una buena fuente para la mayor parte de ellos las frutas y hortalizas. Los micronutrientes, son esenciales para el correcto crecimiento y desarrollo del organismo humano, la utilización metabólica de los macronutrientes, el mantenimiento de las adecuadas defensas frente a enfermedades infecciosas, Así como de muchas otras funciones metabólicas y fisiológicas (Kirk et al., 1996).

En la Tabla 3: se muestra el valor nutricional de minerales que se encuentran presentes en tres morfotipos de la pulpa fresca de aguaje, obtenidas por Vásquez (2008).

Tabla 3

Valor nutricional de minerales encontrados en tres morfotipos de la pulpa fresca de aguaje (Mauritia flexuosa L. f).

MINERALES	AMARILLO mg/100g	COLOR mg/100g	SHAMBO mg/100g
ZN	0,58	0,70	0,90
Ca	137,79	89,14	132,49
Cu	0,28	0,69	0,43
Na	8,18	9,20	20,76
Mg	44,12	44,08	98,61
Mn	10,96	7,72	6,62
K	390,36	312,31	660,81
Fe	1,18	0,55	0,83

Fuente: Vásquez, 2008.

1.10. Generalidades del proceso de liofilización

"En la desecación por congelación o liofilización, se someten alimentos congelados a la acción del vacío en una cámara especial hasta lograr la sublimación de la mayor parte de su contenido en agua. La eliminación del agua ofrece una excelente protección frente a las causas más comunes de deterioro de los alimentos. Los microorganismos no pueden desarrollarse en un medio carente de agua, la actividad enzimática es casi inexistente y la mayoría de las reacciones químicas se retardan de forma importante. La verdura, la fruta, la carne, el pescado y otros alimentos cuyo contenido en agua puede llegar hasta un promedio del 80% de media, pueden secarse hasta una quinta parte de su peso y alrededor de la mitad de su volumen original" (Sotero, 2006).

"Para la pulpa de aguaje la eliminación de agua alcanza 53.6% de agua de muestra fresca, conservando mayor cantidad de β-caroteno 1062 mg/100g vitamina A natural cinco veces más que la zanahoria, siendo la Tabla 4, el que presenta la composición de carotenos y tocoferoles de los morfotipos de aguaje: Color, Amarillo y Shambo" (Vásquez, 2008).

Tabla 4

Concentración de β- caroteno y α- tocoferol de los morfotipos color, amarillo y shambo.

Morfotipos	β-caroteno (mg/100g)	α-tocoferol (mg/l)
Color	26,4	685,81
Amarillo	34,2	677,58
Shambo	28,4	683,35

Fuente: Vásquez, 2008.

1.11. Secado o deshidratación

"Cuando se menciona acerca de secar una sustancia, se piensa invariablemente en la eliminación de agua. Para realizar esta operación, es imprescindible tener en cuenta en primer lugar, la naturaleza de las fuerzas que mantienen al agua unida a la sustancia de la cual se desea eliminar. Así, puede hablarse de eliminar humedad, o agua de inclusión o de hidratación y hasta de constitución. Es obvio,

que cuanto más fuertemente se encuentre asociada el agua, más enérgicas deberán ser las condiciones para eliminarla" (Melo, 2005).

"En la deshidratación por liofilización, se someten alimentos congelados a la acción del vacío en una cámara especial hasta lograr la sublimación de la mayor parte de su contenido en agua. La eliminación del agua, ofrece una excelente protección frente a las causas más comunes de deterioro de los alimentos".

"Los microorganismos no pueden desarrollarse en un medio carente de agua, la actividad enzimática es casi inexistente y la mayoría de las reacciones químicas se retardan de forma importante. Esta última característica hace que la deshidratación se prefiera al envasado, si el producto ha de almacenarse a temperaturas elevadas. Para obtener esta protección, es necesario eliminar la mayor parte del agua. A continuación hay que empaquetar el alimento en recipientes a prueba de humedad para impedir que absorban agua del aire. Por ello, se utilizan a menudo latas herméticas para el envasado de productos deshidratados. Estas latas, ofrecen la ventaja adicional de ser inmunes a agentes destructores externos, como el oxígeno, la luz, los insectos y los roedores" (Geankoplis, 1998).

1.12. Liofilización

"Por principio de temperatura, una sustancia cualquiera tiene tres estados: sólido, líquido y gaseoso. Si queremos convertir el agua en gaseosa (vapor), la tenemos que hervir o por lo menos dejarla reposar largo tiempo para que <<se seque>>, espontáneamente. Si queremos que un pedazo de hielo se derrita, le aplicamos el calor ambiental o lo calentamos para acelerar su licuación. La liofilización, consiste en sacarle el agua a una sustancia congelada, saltándonos el pasaje por el estado líquido: se congela una solución acuosa de la sustancia química que deseamos liofilizar y, a esa baja temperatura, que impide cambios químicos de deterioro, se le somete a un alto vacío, que hace pasar el agua del estado sólido al estado gaseoso, sin pasar por el estado líquido. Es una forma de secar un producto químico a temperaturas bajísimas, sin el deterioro que produciría el recalentamiento" (Luján, 2010).

El secado con congelación, o liofilización, es la sublimación de agua a partir de hielo operando a vacío elevado y a temperaturas inferiores a 0°. Esto se realiza

en secadores especiales de bandejas, para secar vitaminas y otros materiales sensibles al calor.

Se usa generalmente, en la preparación comercial de antibióticos, de algunas vacunas y de muchos productos vegetales alimenticios y saborizantes. Es un proceso de congelación - desecación (freeze-drying) (Geankoplis, 1998).

1.13. Operaciones unitarias en la liofilización

1.13.1. Operación Unitaria:

Una operación unitaria, es cada una de las acciones necesarias de transporte, adecuación y/o transformación implicadas en un proceso químico (*Figura Nº 1)*. Las operaciones unitarias poseen técnicas comunes y se basan en los mismos principios científicos. (Geankoplis, 1982).

1.13.2. Proceso Químico:

Un proceso químico, es un conjunto de operaciones químicas y físicas ordenadas para la transformación de materias iniciales, en productos finales diferentes.

1.13.3. Procesos / Operaciones:

En cada proceso / operación unitaria, se cambian las condiciones de una determinada cantidad de materia, de una o más de las siguientes formas: modificando su masa o composición, modificando el nivel o calidad de la energía que posee y modificando sus condiciones de movimiento.

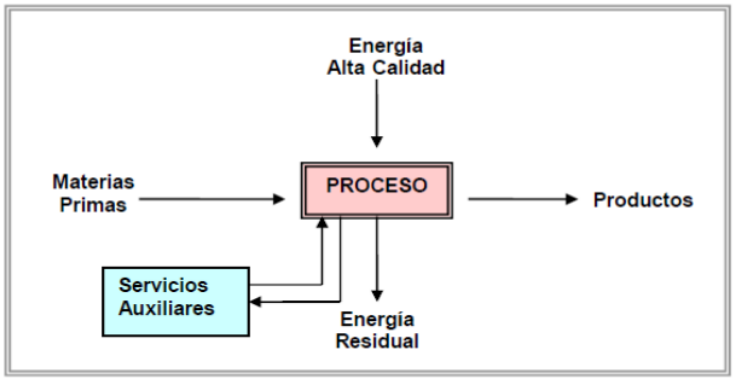


Figura 1. Procesos/operaciones que se da en la liofilización (***Fuente:*** Luján, 2010).

Cada operación unitaria tiene una fuerza impulsora, un gradiente en alguna propiedad, que da cuenta del mecanismo principal de transferencia (Melo, 2005).

1.13.4. Ciclo de liofilización

La liofilización, es una operación esencialmente cíclica, que se desarrolla siguiendo una serie de etapas. Es importante la selección y preparación del alimento antes de su secado por congelación, sólo pueden utilizarse materias primas de calidad. También es importante el almacenamiento del producto liofilizado, antes de su rehidratación y uso. En la *Figura 2* aparecen las diferentes etapas del proceso, desde la preparación inicial del producto hasta su reconstitución y uso. En las etapas específicas del proceso de liofilización, se indica la variación de la temperatura durante el ciclo típico (Luján, 2010).

1.13.5. Congelación del producto

Con el fin de conseguir una estructura porosa en los alimentos secados por liofilización, se deben formar antes del secado muchos cristales pequeños. En una situación ideal, el producto debe ser congelado hasta la condición de concentración (congelación máxima). En este punto, se ha formado la mayor fase de volumen de hielo y el material que permanece sin congelar, tiene el contenido de agua más bajo posible. En este caso, se puede eliminar por sublimación la mayor cantidad de agua (Luján, 2010).

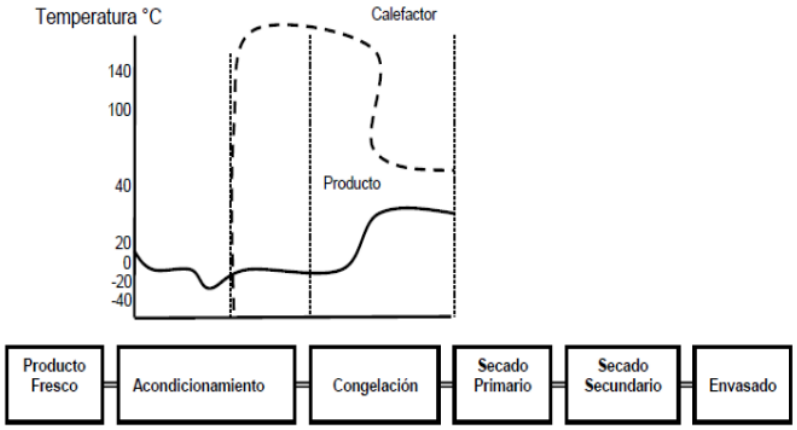


Figura 2. Ciclo que presenta un producto en la liofilización (***Fuente:*** Luján, 2010).

1.13.6. Transferencia de masa y de calor en la liofilización:

En ingeniería la liofilización es muy utilizada por sus favorables ventajas que presenta en cuanto a su utilización como producto final, es por ello, que dentro del proceso se observa el método de desecación que se produce, mientras se elimina el agua por congelación del producto húmedo (*Figura 3)*; la

transferencia que existe al suministrar calor el hielo sublima y se evita el paso por la fase líquida (Ancasi et al., 2005). Dentro del mismo, se detalla los pasos que se ejecutan:

1. Transferencia de calor por convención:

El proceso más común de liofilización, se basa en que los gases que rodean al material suministran a la superficie del sólido, el calor de sublimación necesario. Después, el calor se transfiere por conducción a la superficie congelada. El flujo específico de calor a la superficie del material, se verifica por convección, y una vez en el sólido seco, por conducción hasta la superficie de sublimación. El flujo de calor a la superficie es igual al que pasa por el sólido seco, suponiendo un estado pseudo-estacionario.

2. Transferencia de calor por conducción:

La transferencia de calor por conducción en la liofilización, se basa en la ley de Fourier, que nos menciona que la transferencia de calor por conducción, está en relación directa al área de transferencia y a la diferencia de temperaturas del medio y del alimento (para este caso); y en relación indirecta a la distancia que recorrerá el calor en el alimento.

3. Transferencia de masa:

La transferencia de masa, se produce desde el frente de sublimación, a través del producto seco, hacia la superficie donde el vapor es eliminado por el vacío. La estructura del producto seco determina, en gran medida, la cantidad de humedad transferida durante la liofilización.

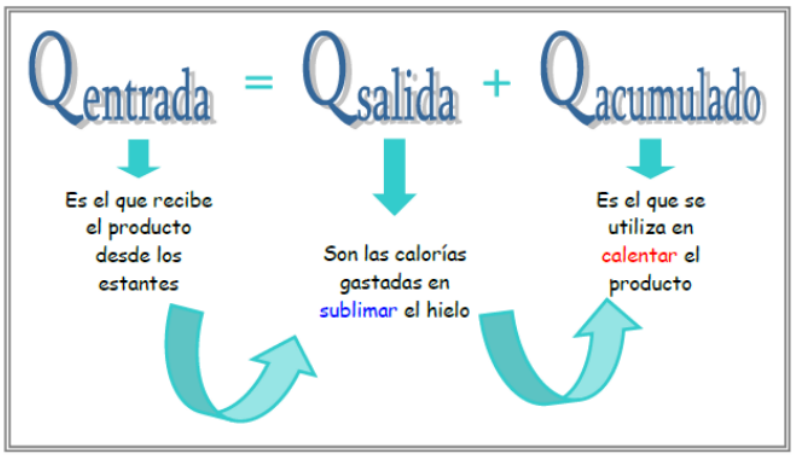


Figura 3. Balance de masa y de calor que se ejecuta en liofilización (***Fuente:*** Luján, 2010).

1.14. Medida del color

1.14.1. Espacio CIELAB:

"El espacio CIELAB está adaptado también como norma UNE, y en él se definen unas magnitudes colorimétricas que se derivan matemáticamente de los valores triestímulo y pueden considerarse una respuesta de los observadores patrones a un estímulo luminoso".

"Tratando de imitar a los observadores reales, estas respuestas se hacen depender del tipo de estímulo y del blanco de referencia".

"Los estímulos dependientes aparecen a los observadores reales como estímulos no autoluminosos, es el caso de cualquier superficie o material no emisor de luz. Como blanco de referencia se tomará el difusor perfecto cuyos valores triestímulo son los del iluminante utilizado y se designan Xn, Yn, Zn. El espacio de color CIELAB es un sistema coordenado cartesiano definido por tres coordenadas colorimétricas L*, a*, b* magnitudes adimensionales que se definen de las siguientes ecuaciones" (Pascual et. al., 2002):

$$
\begin{aligned}
L^* &= 116\left(\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - 0.1379\right) \\
a^* &= 500\left(\sqrt[3]{\frac{X}{X_n}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}}\right) \\
b^* &= 200\left(\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_n}}\right)
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

1

Correspondiendo el subíndice ***n*** al blanco de referencia, que en el caso de los vinos es agua destilada, lo que da en el cálculo el iluminante C según el método oficial.

En el caso en que el cociente $\frac{Y}{Y_n}$ (factor de luminancia) sea igual o menor que 0.008856 (muestras muy oscuras) el cálculo de las coordenadas colorimétricas se realizará con las expresiones siguientes (Pascual et. al., 2002):

$$L^* = 903.292\left(\frac{Y}{Y_n}\right)$$
$$a^* = 3893.5\left(\frac{X}{X_n} - \frac{Y}{Y_n}\right) \quad (2)$$
$$b^* = 1557.4\left(\frac{Y}{Y_n} - \frac{Z}{Z_n}\right)$$

La coordenada L* recibe el nombre de **Claridad** y puede tomar valores entre 0 y 100, para estímulos independientes toma siempre el valor 100 y no sirve para su especificación. Las **coordenadas colorimétricas** a* y b* forman un plano perpendicular a la Claridad. La coordenada a* define la desviación del punto acromático correspondiente a la Claridad, hacia el rojo si a* > 0, hacia el verde si a* < 0. Análogamente la coordenada b* define la desviación hacia el amarillo si b* > 0, hacia el azul si b* < 0, como muestra la figura 1 (Pascual et. al, 2002):

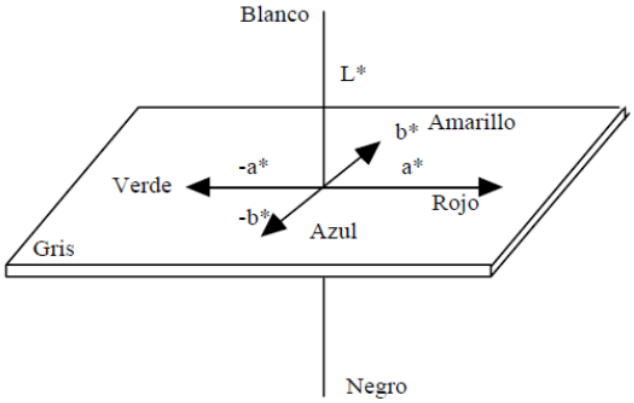


Figura 4. Espacio de color CIELAB (***Fuente:*** Pascual et. al, 2002).

El conjunto a*, b* recibe el nombre de **Cromaticidad** y junto con la Claridad definen el color de un estímulo. Se corresponde con el término cromaticidad (x, y) y como él ni indica explícitamente el tono y la saturación. Este inconveniente puede resolverse definiendo dos magnitudes colorimétricas nuevas a través de las expresiones siguientes (Pascual et. al, 2002):

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (3)$$
$$h^* = \text{arctg}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

El **Croma**, C*, tiene el valor 0 para estímulos acromáticos y, por lo general, no pasa de 150 aunque puede superar ese valor para estímulos monocromáticos. El **Tono angular**, h*, varía entre 0º y 360º y para estímulos acromáticos (a* = 0, b* = 0) es una magnitud no definida. Ambos términos también definen la cromaticidad del color del estímulo y junto con la claridad determinan las coordenadas cilíndricas del espacio **CIELAB** (Pascual et. al, 2002).

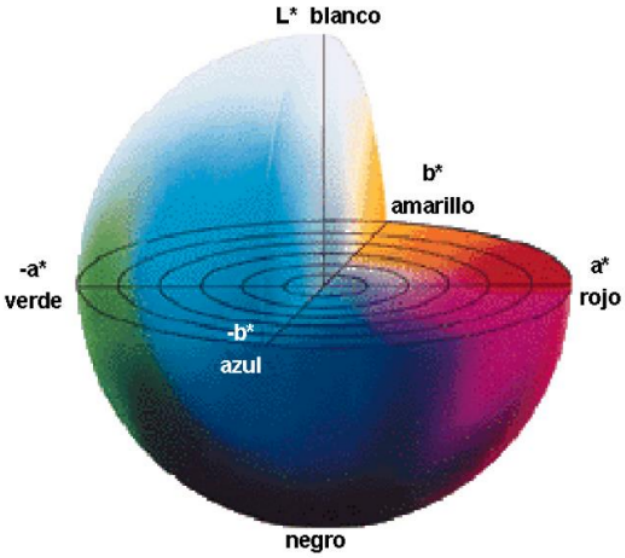


Figura 5. Coordenadas cilíndricas del espacio CIELAB (***Fuente:*** Pascual et. al, 2002).

Los diagramas de cromaticidad en el espacio CIELAB no son diagramas de cromaticidad propiamente dichos ya que las coordenadas a* y b* no son proporcionales a los valores triestímulo, es decir, no se relacionan a través de funciones de lineales y por ello reciben el nombre de *diagramas de croma métrico CIE 1976*. Conviene indicar que el espacio de color CIELAB tiene la misma configuración que el Munsell pero presenta dos ventajas importantes:

1. El cálculo de las coordenadas es mucho más simple
2. Las unidades de las escalas entre las magnitudes CIELAB son casi iguales, a diferencia de lo que ocurre en las escalas del sistema Munsell (Pascual et. al, 2002).

1.15. Rehidratación

La propiedad de un producto para deshidratarse y subsecuentemente ser reconstituido con agua depende entre otras cosas, de la formación de una estructura porosa, libre de barreras, impermeables.

Frecuentemente, un producto puede ser liofilizado sin dificultad pero es de limitado valor por su inadecuada reabsorción de agua.

Existen otros obstáculos para la penetración del fluido rehidratante, como son la superficie repelente al agua, una membrana impermeable, burbujas de aire atrapadas, etc.

Algo importante en el aspecto de rehidratación es el efecto que tiene la temperatura del agua sobre el grado de rehidratación, con esto se quiere mencionar que a mayor temperatura del agua de rehidratación menor será el grado de esta (Barreto, 1996).

1.16. Ubicación geográfica y obtención de la muestra

Las muestras fueron recolectadas y traídas desde la provincia de Lamas, distrito de El Pongo de Caynarachi en la región San Martín; que posee características climatológicas y tipos de suelo mencionados en la Tabla 5.

Tabla 5

Características climatológicas y tipos de suelo en el distrito de Caynarachi.

Características climatológicas generales	Moderadamente húmedo y semicalido, principales factores que condicionan las costumbres de las poblaciones, por sus características de precipitaciones, temperaturas, humedad, vientos, entre otros factores
Precipitación	Este clima presenta precipitaciones pluviales con dos épocas bien marcadas durante el año: una lluviosa (entre Septiembre a Noviembre, con un promedio mensual más alto en Octubre, con 138.6 mm. y otra en los meses de febrero a abril con un promedio mensual más alto en marzo, con 180.1 mm.), y otra con menores precipitaciones (entre junio y agosto, con un mínimo mensual de 67.8 mm.).

	La precipitación promedio anual es de 1358.0 mm.
Temperatura	Las temperaturas que corresponden a este tipo climático fluctúan entre 22.7 °C y 33.8 °C que muestran una oscilación media anual muy estrecha de 11.1°C. Teniendo una media anual de 28.2° C.
Humedad Relativa	Sigue la misma tendencia que la precipitación pluvial, es decir, se incrementa en los sectores cercanos a las estribaciones de la cordillera: En el sector de Lamas, en general, se encuentra alrededor de 83% de promedio anual.
Horas de Sol	Se registró un promedio de 4,359 horas de sol al año, observándose dos épocas marcadas de insolación: alta de Noviembre hasta Febrero y baja de Mayo hasta Agosto.
Tipos de Suelo	Conformado por: - 54.39% de suelos areno arcillosos de baja plasticidad, sin presencia de nivel freático, poco densos. - 16.51% de suelos areno limosos-arcillosos de baja plasticidad, sin presencia de nivel freático, poco densos. - 14.71% de suelos arcillosos de baja plasticidad, sin presencia de nivel freático, poco densos. - 13.77% de suelos orgánicos de alta plasticidad, sin presencia de nivel freático, poco densos. - 0.62% de suelos limosos de alta plasticidad, sin presencia de nivel freático, poco densos.

Fuente: Defensa Civil, 2008.

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar de ejecución:

- Las pruebas y experimentos se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

2.2. Materiales y equipos:

- Liofilizador.
- Congelador y conservador.
- Campanas desecadoras.
- Probetas de 100 y 250 ml.
- Balones.
- Placas petri.
- Pinzas de metal.
- Vasos de precipitados de 50, 100 y 250 ml.
- Marcadores.
- Guantes descartables.
- Cucharas y cuchillos.
- Bolsas de polietileno.
- Balanza analítica.
- Mufla.
- Equipo de extracción Soxhlet.
- Cocina eléctrica
- Termómetros de mercurio (0°C a 250°C)

2.3. Reactivos y disolventes:

- Agua destilada.
- Hexano.
- Sulfato de cobre
- Tiosulfato de sodio
- Ácido salicílico
- Indicadores.
- Sulfato de potasio
- Sulfato de fiero II
- Butanol.
- Etanol.

2.4. Metodología:

La investigación se realizó siguiendo las etapas que a continuación se mencionan:

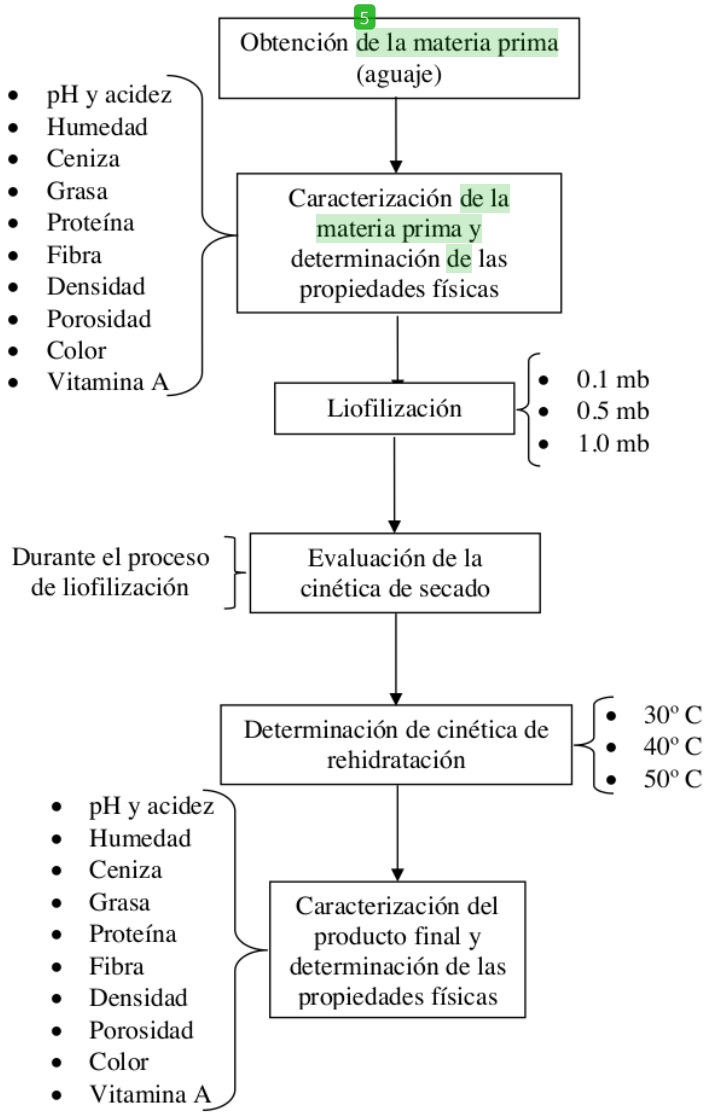


Figura 6. Etapas del proceso de investigación durante la ejecución del trabajo de tesis.

2.4.1. Obtención de la materia prima (pulpa de aguaje):

Los morfotipos, fueron seleccionadas por calidad y transportadas adecuadamente, en un estadío de maduración óptimo.

Un fruto de buena calidad es aquel que no presenta ninguna irregularidad en la pulpa o en la semilla, por lo tanto se puede extraer la totalidad de la materia

prima con óptimas características (pasta homogénea de color agradable a la vista y variable según el morfotipo).

Una vez en los laboratorios, las muestras fueron limpiadas, lavadas con abundante agua a presión y talladas para eliminar los rastros de tierra; posteriormente fueron desinfectadas sumergiéndolas en una solución de hipoclorito de sodio a 5 partes por millón (ppm) y acondicionadas para el posterior proceso de maduración mediante un escaldado a 65° C por un tiempo de 30 a 35 minutos como indica Navarro (2001). Esto nos permitió obtener la pulpa neta mediante la eliminación de la cáscara y la extracción manual de la pulpa separando la corteza del endospermo, como menciona Luján (2010).

2.4.2. Caracterización de la materia prima y determinación de las propiedades físicas:

Se determinó:

- pH y Acidez, utilizando el potenciómetro digital (AOAC, 1990).
- Humedad, por el método de desecación es estufa (AOAC, 1990).
- Ceniza, por incineración en *Mufla* a 550° C (AOAC, 1990).
- Grasa, fue efectuado por medio del método de extracción por solvente en frio – método de Folch (AOAC, 1990).
- Proteínas por el método de Kjeldahl (AOAC, 1990).
- Fibra, a través del método de extracción con ácido o álcali, -digestión acida y una alcalina- (AOAC, 1990).
- Densidad, por medio de dos métodos. El primero, densidad aparente utilizando una cantidad determinada de pulpa en peso y el volumen aparente que ocupa dicha cantidad. El segundo, densidad compactada sometiendo cierta cantidad de pulpa liofilizada a una vibración constante hasta que el volumen se mantenga sin cambios (Jacobs, 1958). Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{P_M}{V_M} \qquad (4)$$

donde:

P_M = Peso de la muestra (g);

V_M = Volumen de la muestra (cm^3).

- Porosidad, utilizando el método de densidad en donde se determinó la densidad de la muestra y la densidad del solido presente en ella, según el procedimiento descrito por Scheidegger (1974). Se aplicó la siguiente fórmula:

$$P = \frac{\rho_m}{\rho_m + \frac{\rho_f}{\rho_m}} \qquad (5)$$

donde:

ρ_m = Densidad del material seco (g/cm^3);

ρ_f = Densidad del líquido presente (g/cm^3).

- Color, se determinó usando un colorímetro marca Minolta, modelo Chroma Meter CR-3000, sistema L*a*b CIELAB (Alonso, 2005).
- Pro Vitamina A y retinol, utilizando el método espectrofotométrico (Higby, 1992) que describe que para la determinación de vitamina A o pro vitamina A en forma de β-carotenos y retinol, en primera instancia se procedió a preparar una solución con 35 mL de alcohol n-butílico y 15 mL de agua destilada que fueron mezcladas uniformemente para obtener una solución saturada de Alcohol n-butílico.

Para la determinación de β-carotenos se procedió a pesar 1 g de muestra en un matraz de vidrio y se añadirá 50 mL de alcohol n-butílico saturado, se agitó durante 2 minutos y se dejó en reposo por lapso de 20 minutos. A la solución en reposo, se filtró en papel filtro lento y se procedió a llenar una cubeta de 1cm^3 con el extracto de la muestra; en otra cubeta se colocó el solvente. Se realizó la lectura en el espectrofotómetro a una absorbancia de 450 nm. Este ensayo se realizó por triplicado.

Para la determinación del Retinol se procedió de la misma manera, con la única diferencia de que las lecturas de la absorbancia se realizarán a una longitud de onda de 470 nm.

Para los cálculos se tomaron las siguientes formulas:

$$mg\,\beta - Carotenos \,/\, 100\,g Muestra = \frac{(A-B)*1.57}{W_M} \qquad (6)$$

$$mgRETINOL \Big/ 100\,gMuestra = \frac{(A-B)*10.9}{W_M} \qquad (7)$$

donde:

A = Lectura de la absorbancia de la muestra;

B = Lectura de la absorbancia del solvente;

W_M = Peso de muestra.

2.4.3. Liofilización:

En esta etapa de la investigación se congelaron varios recipientes conteniendo 100 ml de muestra aproximadamente a una temperatura de -20° C, en moldes, para obtener muestras con dimensiones de 3.25 cm de largo, 2.35 cm de ancho y 1.0 cm de espesor, luego de ello pasó al equipo Liofilizador en donde se fijaron tres diferentes condiciones de proceso (presiones de 0.1, 0.5 y 1.0 milibares y sus respectivas temperaturas) y por medio de sublimación la humedad o cantidad de agua presente en la muestra pasaron de un estado sólido a un estado gaseoso dejando la muestra seca pero con características similares a la pulpa de aguaje natural.

2.4.4. Evaluación de la cinética de secado:

Durante el proceso de liofilizado, las muestras fueron retiradas del equipo a intervalos de tiempo crecientes e inmediatamente pesadas. Esto hizo posible el estudio de la cinética de secado (pérdida de humedad con respecto al tiempo).

Primero se realizó un balance de materia, para determinar el peso que debería alcanzar el aguaje al final del proceso (Ecuaciones 8 y 9), asumiendo todo pérdida de peso con referente al agua presente en dicha materia prima.

$$M_K^0 = M_W + M_K \qquad (8)$$

$$M_K^0 . X_{WK}^0 = M_W . X_W + M_K . X_{WK} \qquad (9)$$

donde:

M_K^0 = Masa inicial de la pulpa de aguaje (g);

M_W = Masa de agua (g);

M_K = Masa final de la pulpa de aguaje (g);

M_K^0 = Humedad inicial pulpa de aguaje (g agua/100g de producto);

X_{WK}^0 =1 (g agua/100g de producto);

X_{WK} = Humedad final del aguaje (g agua/100g de producto).

Las predicciones matemáticas de la cinética se llevó a cabo en base a dos modelos: la segunda Ley de Fick (Geankoplis, 1998) y el modelo de Page (Crank, 1975) aplicado por Monteagudo et. al (2013).

Para la aplicación de la segunda Ley de Fick se desarrolló con el modelo matemático de Crank (1975) para tiempos largos y considerando una geometría de placa plana en tres dimensiones, ya que el transporte de agua se da a través de los tres lados o caras de las muestras (Ecuación 10).

$$Y_W^t = \frac{8}{\pi^2} \cdot \exp\left(-\frac{D_e \cdot \pi^2 \cdot t}{4 \cdot l^2}\right) \quad (10)$$

donde:

l = semiespesor de las muestras (m);

t = tiempo de liofilización (s);

D_e = difusividad efectiva del agua (m^2/s);

Y_W^t = fuerza impulsora para la transferencia de agua a cada tiempo.

La fuerza impulsora viene determinada a partir de los datos de humedad de la muestra (Ecuación 11).

$$Y_W^t = \frac{X_W^t - X_W^e}{X_W^0 - X_W^e} \quad (11)$$

donde:

X_W^0 = humedad a tiempo cero (g agua/g producto);

X_W^t = humedad a cada tiempo (g agua/ g producto);

X_W^e = humedad de equilibrio del producto (g agua/ g producto).

La expresión linealizada de la Ley de Fick utilizada viene dada por la ecuación 12:

$$Ln\left(Y_W^t\right) = Ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{D_e \cdot \pi^2}{4 \cdot l^2} \cdot t \qquad (12)$$

De igual manera se aplicó el modelo de Page desarrollado por Crank (1975) y aplicado por Monteagudo et. al (2013), (Ecuación 13) en donde este modelo difusional de tipo exponencial nos permitió utilizar los datos correspondientes al proceso de liofilización completo.

$$\frac{X_W^t - X_W^e}{X_W^0 - X_W^e} = \exp\left(-k \cdot t^n\right) \qquad (13)$$

donde:

X_W^0 = Humedad a tiempo cero (g agua/g producto);

X_W^t = Humedad a cada tiempo (g agua/g producto);

X_W^e = humedad de equilibrio (g agua/ g producto);

t = tiempo de liofilización (h);

k (h^{-1}) y n son parámetros que dependen de las condiciones de secado.

2.4.5. Determinación de la capacidad de rehidratación:

Se colocaron 10 g de pulpa liofilizada, tratadas en diferentes condiciones de proceso en 9 pequeños recipientes al que se le adicionaron 20 ml de agua a 30° C y se tomó una muestra de un mililitro, a la que se le determinó el contenido de sólidos; luego se repitió el mismo proceso otras dos veces adicionando agua a 40 y 50° C respectivamente en cada proceso.

Para determinar el contenido de sólidos disueltos (SD) de las muestras (Ecuación 14), fue necesario conocer el contenido en sólidos solubles (SS) y totales (ST) de las mismas. El contenido en ST se desprendió de los análisis proximales iniciales, mientras que para determinar el contenido en SS se agitaron 10 g de muestra cómo se mencionó anteriormente; el sobrenadante obtenido se filtró empleando papel filtro y finalmente fueron sometidos a las mismas condiciones de secado descritas para ST (Monteagudo et al., 2013).

$$SD = \frac{SS}{ST} \qquad (14)$$

2.4.6. Caracterización del producto final y determinación de las propiedades físicas:

En esta última etapa seleccionamos el producto con los mejores resultados, que fue evaluado de acuerdo a la obtención de un producto de calidad con un tiempo óptimo de secado, evaluando para esto:

- pH y Acidez, utilizando el potenciómetro digital (AOAC, 1990).
- Humedad, por el método de desecación es estufa (AOAC, 1990).
- Ceniza, por incineración en *Mufla* a 550° C (AOAC, 1990).
- Grasa, fue efectuado por medio del método de extracción por solvente en frio – método de Folch (AOAC, 1990).
- Proteínas por el método de Kjeldahl (AOAC, 1990).
- Fibra, a través del método de extracción con ácido o álcali, que consiste en una digestión acida y una alcalina (AOAC, 1990).
- Densidad, por medio de dos métodos. El primero, densidad aparente utilizando una cantidad determinada de pulpa en peso y el volumen aparente que ocupa dicha cantidad. El segundo, densidad compactada sometiendo cierta cantidad de pulpa liofilizada a una vibración constante hasta que el volumen se mantenga sin cambios (Jacobs, 1958). Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{P_M}{V_M} \qquad (4)$$

donde:

P_M = Peso de la muestra (g);

V_M = Volumen de la muestra (cm^3).

- Porosidad, utilizando el método de densidad en donde se determinó la densidad de la muestra y la densidad del solido presente en ella, según el procedimiento descrito por Scheidegger (1974). Se aplicó la siguiente fórmula:

$$P = \frac{\rho_m}{\rho_m + \frac{\rho_f}{\rho_m}} \qquad (5)$$

Dónde:

ρ_m = Densidad del material seco (g/cm^3);

ρ_f = Densidad del líquido presente (g/cm^3).

- Color, se determinó usando un colorímetro marca Minolta, modelo Chroma Meter CR-3000, sistema L*a*b CIELAB (Alonso, 2005).
- Pro Vitamina A y retinol, utilizando el método espectrofotométrico (Higby, 1992) que describe que para la determinación de vitamina A o pro vitamina A en forma de β-carotenos y retinol, en primera instancia se procedió a preparar una solución con 35 mL de alcohol n-butílico y 15 mL de agua destilada que fueron mezcladas uniformemente para obtener una solución saturada de Alcohol n-butílico.

  Para la determinación de β-carotenos se procedió a pesar 1 g de muestra en un matraz de vidrio y se añadirá 50 mL de alcohol n-butílico saturado, se agitó durante 2 minutos y se dejó en reposo por lapso de 20 minutos. A la solución en reposo, se filtró en papel filtro lento y se procedió a llenar una cubeta de 1cm^3 con el extracto de la muestra; en otra cubeta se colocó el solvente. Se realizó la lectura en el espectrofotómetro a una absorbancia de 450 nm. Este ensayo se realizó por triplicado.

  Para la determinación del Retinol se procedió de la misma manera, con la única diferencia de que las lecturas de la absorbancia se realizaron a una longitud de onda de 470 nm.

Para los cálculos se tomaron las siguientes fórmulas:

$$mg\,\beta - Carotenos \,/\, 100\,g Muestra = \frac{(A-B)*1.57}{W_M} \qquad (6)$$

$$mg RETINOL \,/\, 100\,g Muestra = \frac{(A-B)*10.9}{W_M} \qquad (7)$$

donde:

A = Lectura de la absorbancia de la muestra;

B = Lectura de la absorbancia del solvente;

W_M = Peso de muestra.

2.5. Diseño Experimental:

Para evaluar el efecto de la presión (0.1 mbar, 0.5 mbar y 1.0 mbar) en la liofilización y de los morfotipos (amarillo, color y shambo) se aplicó el modelo experimental de DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR con arreglo factorial 3 x 3; los ensayos se realizaron por triplicado, totalizando 27 experimentos. Para identificar la influencia se utilizó el ANOVA y una test de Duncan al 5% de probabilidad estadística. Las variables respuesta fueron la humedad final, la velocidad de secado, la densidad, la porosidad, el color y el contenido de vitamina A expresado en β-carotenos y retinol.

Para evaluar el efecto de la presión y de los morfotipos en la cinética de rehidratación se aplicó también un DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR 3x3x3, con tres temperaturas de rehidratación, tres presiones y tres morfotipos. Los ensayos serán realizados por triplicado, totalizando 81 experimentos.

2.5.1. Variables:

Para el primer diseño, las variables independientes fueron las condiciones de liofilización (presiones) y el morfotipo de aguaje y las variables dependientes fueron la cinética de secado, el contenido de humedad, las características físicas de las muestras (densidad, porosidad, color y contenido de vitamina A).

Para el segundo diseño, las variables independientes fueron los morfotipos liofilizados a diferentes condiciones de presión y la temperatura del medio rehidratante y la variable dependiente fue la capacidad de rehidratación.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización de la materia prima

3.1.1. Caracterización de la pulpa fresca

En las Tablas 6 y 7 se observan el pH y la acidez, y el contenido de humedad, proteínas, grasa, cenizas y fibra respectivamente.

Tabla 6

pH y acidez de la pulpa fresca de aguaje.

MORFOTIPO	Ph	ACIDEZ ($g_{ácido}$/100g)
Amarillo	3.74	0.405
Color	3.71	0.578
Shambo	3.81	0.437

Tabla 7

Análisis proximal de la pulpa fresca de aguaje.

ANÁLISIS (%)	MORFOTIPO		
	Amarillo	**Color**	**Shambo**
Humedad	70.83	72.10	63.77
Ceniza	0.097	0.33	0.583
Grasa	13.77	12.93	18.2
Proteína	1.03	1.05	1.083
Fibra	11.00	10.40	9.55

Las Tablas 6 y 7 indican, que debido a su comportamiento, los morfotipos entre si presentan diferencias relevantes. Es decir, que la humedad en cada uno es diferente siendo el morfotipo color quien contiene más humedad y el morfotipo shambo mayor concentración de grasa.

Con base a lo indicado por Villachica (1996) podemos decir que se reportan valores similares a lo encontrado, con diferencias notorias en la cantidad de agua o humedad presente.

Para comparar estos resultados con lo encontrado por Luján (2010) en un trabajo similar, elaboramos la Tabla 8 en donde podemos apreciar que se reporta valores similares en el análisis de la pulpa de tres morfotipos con significativas variaciones en la humedad y en la cantidad de grasa. En tal sentido, podemos decir que aún no existen estándares establecidos para la composición en la pulpa de aguaje, ya que debido a las variaciones en suelo y clima de la zona selva, los frutos amazónicos consecuentemente deben presentar varianzas acordes al medio que las rodea.

Tabla 8

Comparación del análisis proximal de la pulpa fresca de aguaje con lo encontrado por Luján (2010).

ANÁLISIS (%)	MORFOTIPO					
	Amarillo		Color		Shambo	
	Trabajo del tesista	LUJAN (2010)	Trabajo del tesista	LUJAN (2010)	Trabajo del tesista	LUJAN (2010)
Humedad	70.83	48.34	72.10	53.85	63.77	59.50
Ceniza	0.097	1.02	0.33	1.43	0.583	1.28
Grasa	13.77	18.73	12.93	34.87	18.2	21.54
Proteína	1.03	2.10	1.05	2.36	1.083	3,6
Fibra	11.00	29.81	10.40	8.74	9.55	13.94

3.1.2. Densidad

Se determinó la densidad aparente y la densidad compactada de la pulpa fresca y los resultados se observan en la Tabla 9:

Tabla 9

Densidad aparente y compactada de la pulpa fresca de tres morfotipos de aguaje.

MORFOTIPO	DENSIDAD APARENTE (g/cm^3)	DENSIDAD COMPACTADA (g/cm^3)
Amarillo	1.0449	1.0747
Color	1.0447	1.0892
Shambo	1.0449	1.0819

3.1.3. Porosidad

Se determinó utilizando las densidades tanto de la muestra como del sólido presente. Los resultados se resumen en la Tabla 10:

Tabla 10

Porosidad de la pulpa fresca de tres morfotipos de aguaje.

	Amarillo	Color	Shambo
POROSIDAD	0.52	0.52	0.52

3.1.4. Color

Se realizó usando un colorímetro y los resultados son como se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11

Evaluación del color de la pulpa fresca de tres morfotipos de aguaje.

MORFOTIPO	L	a*	b*
Amarillo	50.09	11.65	34.72
Color	61.59	6.90	43.52
Shambo	53.23	30.27	14.00

Con los valores obtenidos representamos luminosidad (L), tendencia al rojo (a*) y tendencia al verde (b*) como se muestra en la *Figura 7*.

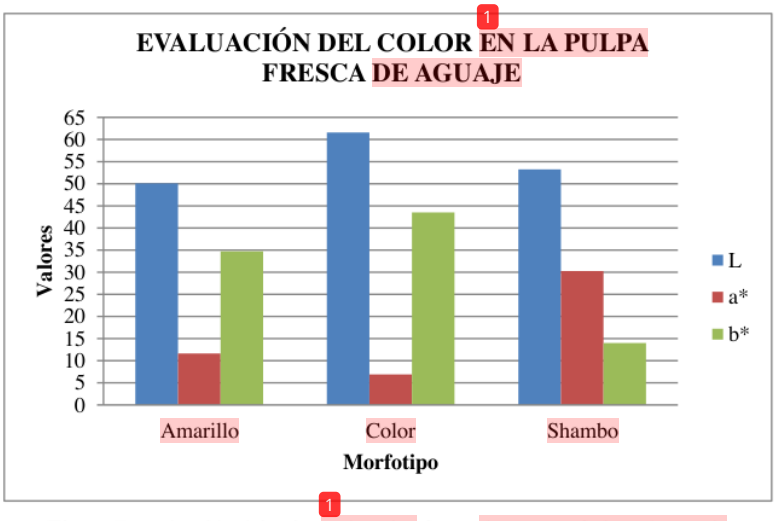


Figura 7. Evaluación del color en la pulpa fresca de tres morfotipos de aguaje.

Se observó antes de la evaluación la baja porosidad de la muestra fresca de aguaje, por contener agua en su interior. Puede notarse que la porosidades un valor estable no fluctuante de 0.52 para los tres morfotipos, concordante con la porosidad de materiales húmedos.

En la *Figura 7* se puede apreciar los valores de luminosidad (L), tendencia al rojo (a*) y tendencia al verde (b*) de la pulpa de tres morfotipos de aguaje, antes proceso de liofilización.

3.1.5. Determinación de vitamina A

Los resultados se reportan en la Tabla 12.

Tabla 12

Determinación de vitamina A en forma de β-Caroteno y Retinol de la pulpa fresca de aguaje.

	Amarillo	Color	Shambo
β-Carotenos (mg/100g)	257.46	243.31	266.4
Retinol (mg/100g)	946.12	932.56	958.63

Se observa que las cantidades son muy similares a lo que reporta el Tratado de Cooperación Amazónica (1997) y otros autores en lo que respecta a la cantidad de vitamina A en forma de retinol, pero si comparamos estas cifras con lo que manifiesta Yuyama et al., (1998) (valores entre 11,05 mg/100g a 35,8 mg/100g) estas resultan siendo muy superiores aunque se traten de pulpa fresca. Diferencias que pueden atribuirse quizá a los métodos utilizados o al manejo de las muestras antes de realizar las evaluaciones, o a las metodologías empleadas para las mismas.

3.2. Proceso de liofilización

Las muestras de aguaje, antes de ser sometidas al proceso de secado por liofilización, fueron previamente pesadas para determinar el rendimiento que se obtiene con la perdida de agua en el proceso; los resultados experimentales se

aprecian en la Tabla 13, donde observamos pesos y rendimientos de los tres morfotipos.

Tabla 13

Rendimiento de la pulpa fresca y liofilizada de aguaje.

PRESIÓN (mb)	MORFOTIPO	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	RENDIMIENTO (%)
0.101	Amarillo	150.0	49.85	33.23
	Color	151.6	58.85	38.82
	Shambo	153.2	44.80	29.24
0.503	Amarillo	151.2	50.1	33.13
	Color	150.6	59.15	39.28
	Shambo	149.3	45.05	30.17
1.06	Amarillo	149.9	48.95	32.66
	Color	150.6	59.5	39.51
	Shambo	151.1	44.65	29.55

35

En la Tabla 13 se observa el rendimiento de la pulpa liofilizada de los morfotipos en estudio los que varían entre 29 y 40%, por lo tanto la cantidad que se deshidrata esta entre 60 y 71%, que representa el porcentaje de agua contenida en cada morfotipo. De la apariencia general del producto final podemos decir que es buena al tacto y que mantiene el color característico de la materia prima, que diferencia a los morfotipos.

Luján (2010) reporta valores de un 25% para el rendimiento con ligeras variaciones para los morfotipos (amarillo, 26.98; color, 25.58; shambo, 25.55). En nuestro caso, las variaciones son mucho más amplias aunque similares entre las condiciones, pero es notorio que al tratarse de pulpa fresca que se sometió a un proceso es difícil comparar las muestras, ya que no tuvimos un estándar de madures, el tiempo de ablandamiento y cantidad de humedad presente en el medio; ya que esto pueden influir significativamente en el rendimiento de la pulpa sin contar con las diferentes variaciones de los morfotipos por cada zona y de las características de los mismos.

3.3. Cinética de secado:

3.3.1. Curvas de secado:

Durante el proceso de liofilizado, las muestras fueron pesadas a intervalos de tiempo determinados. Esto hace posible el estudio de la cinética de secado (pérdida de peso con respecto al tiempo) que se observan en el Anexo A (Ítem A1, A2 y A3).

Definimos algunos datos por cada morfotipo como el área, el porcentaje de humedad (%H) y el porcentaje de materia seca, como se aprecia en el Anexo A (Ítems A4, A5 y A6), para poder elaborar las tablas de cinética de secado.

Con estos datos podemos construir los Ítems A7, A8 y A9 del Anexo A que expresan la cinética de secado a 0.101 mbar de los distintos morfotipos.

Con esta información se construyó la curva de secado y se representó la velocidad de secado expresadas en las *Figuras 8* y *9* respectivamente.

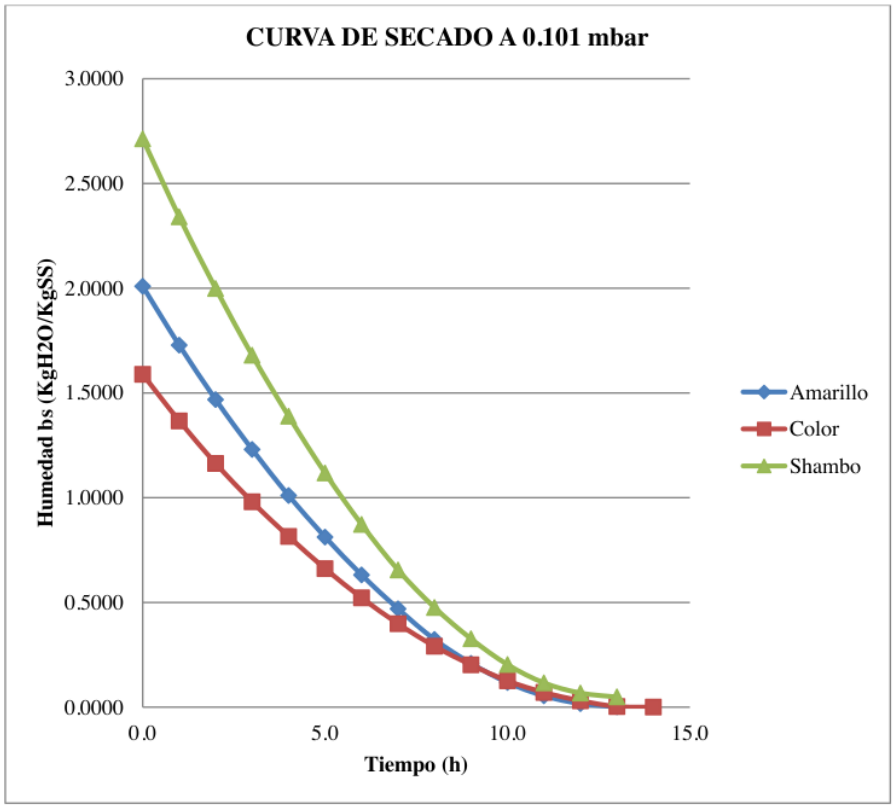


Figura 8. Curva de secado a 0.101 mbar.

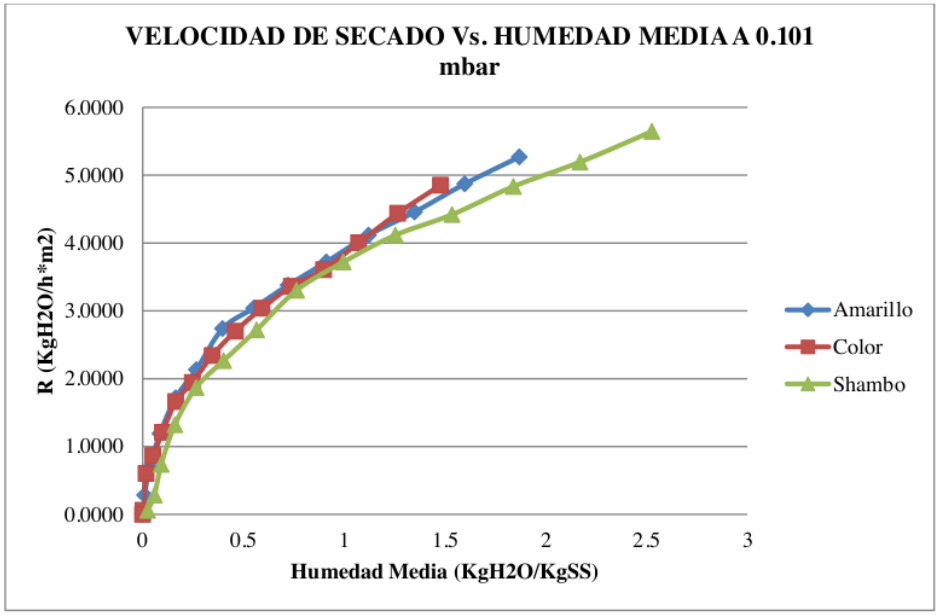


Figura 9. Velocidad de secado Vs. Humedad media a 0.101 mbar.

De igual manera los Ítems A10, A11 y A12 del Anexo A expresan la cinética de secado de los tres morfotipos a 0.501 mbar. Tomando estos mismos datos, se pudieron elaborar las *Figuras 10* y *11*, que de la misma manera representan la curva de secado y la velocidad de secado, respectivamente.

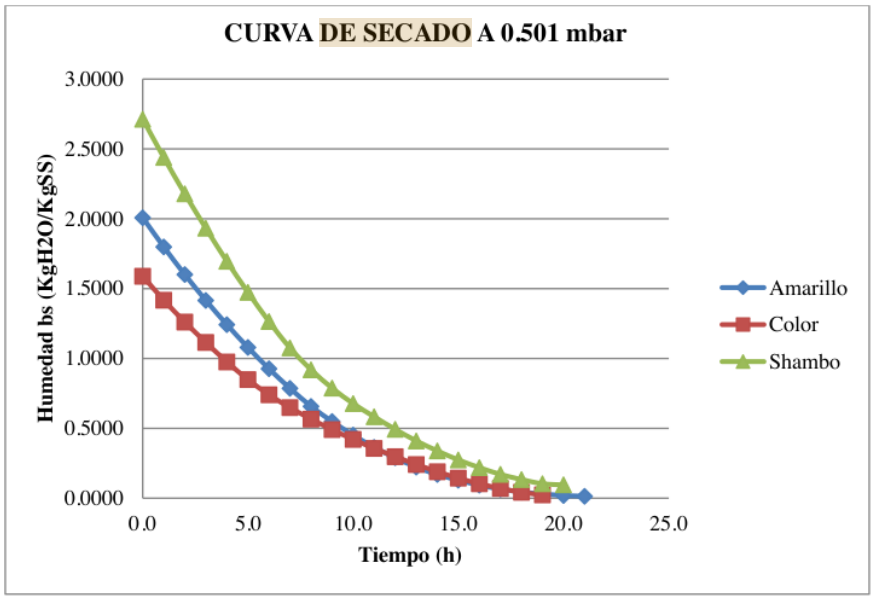


Figura 10. Curva de secado a 0.501 mbar.

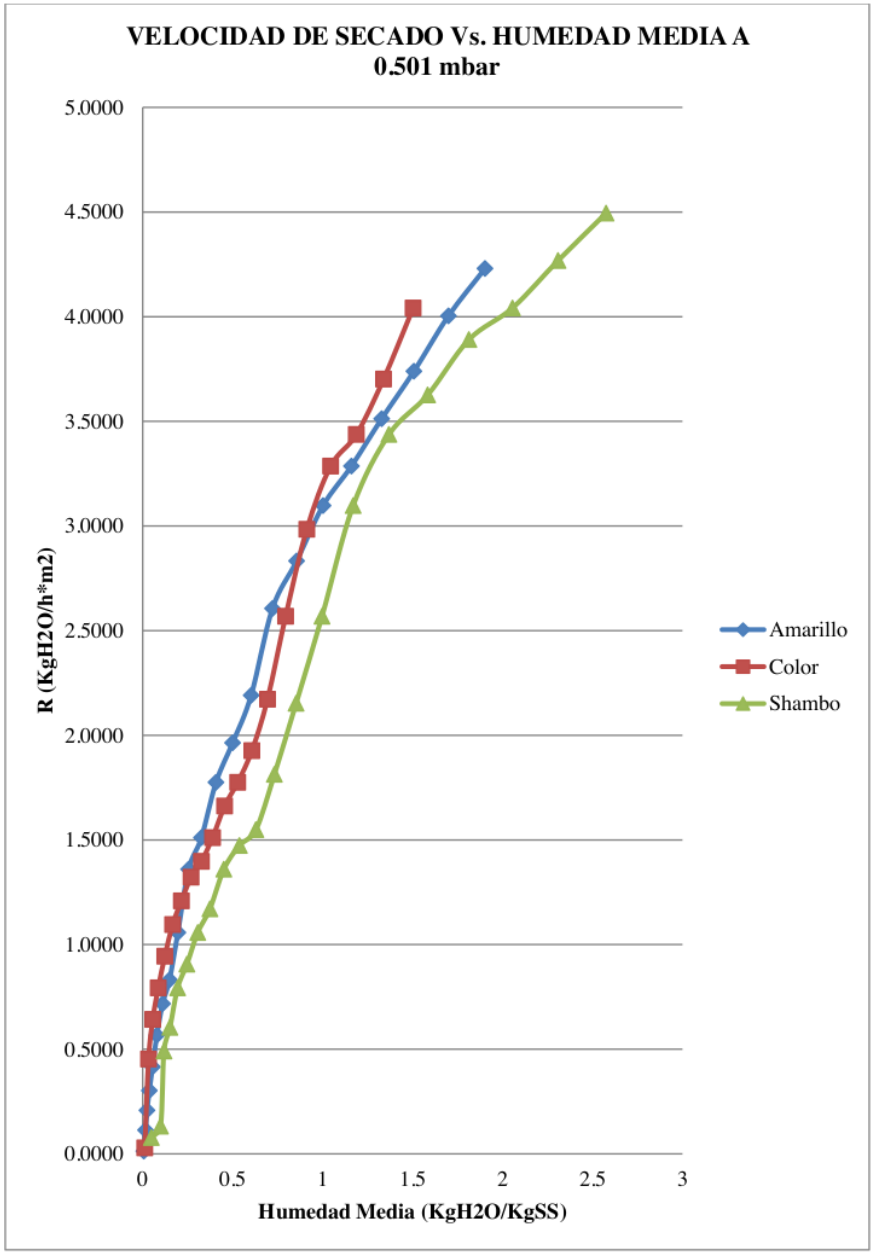


Figura 11. Velocidad de secado Vs. Humedad media a 0.501 mbar.

De tal forma los Ítems A13, A14 y A15 del Anexo A reportan la cinética a 1.03 mbar de tres morfotipos estudiados. Nuevamente y de igual manera, con estos datos, se pudieron representar la curva de secado y la velocidad de secado, graficadas en las *Figuras 12* y *13* respectivamente.

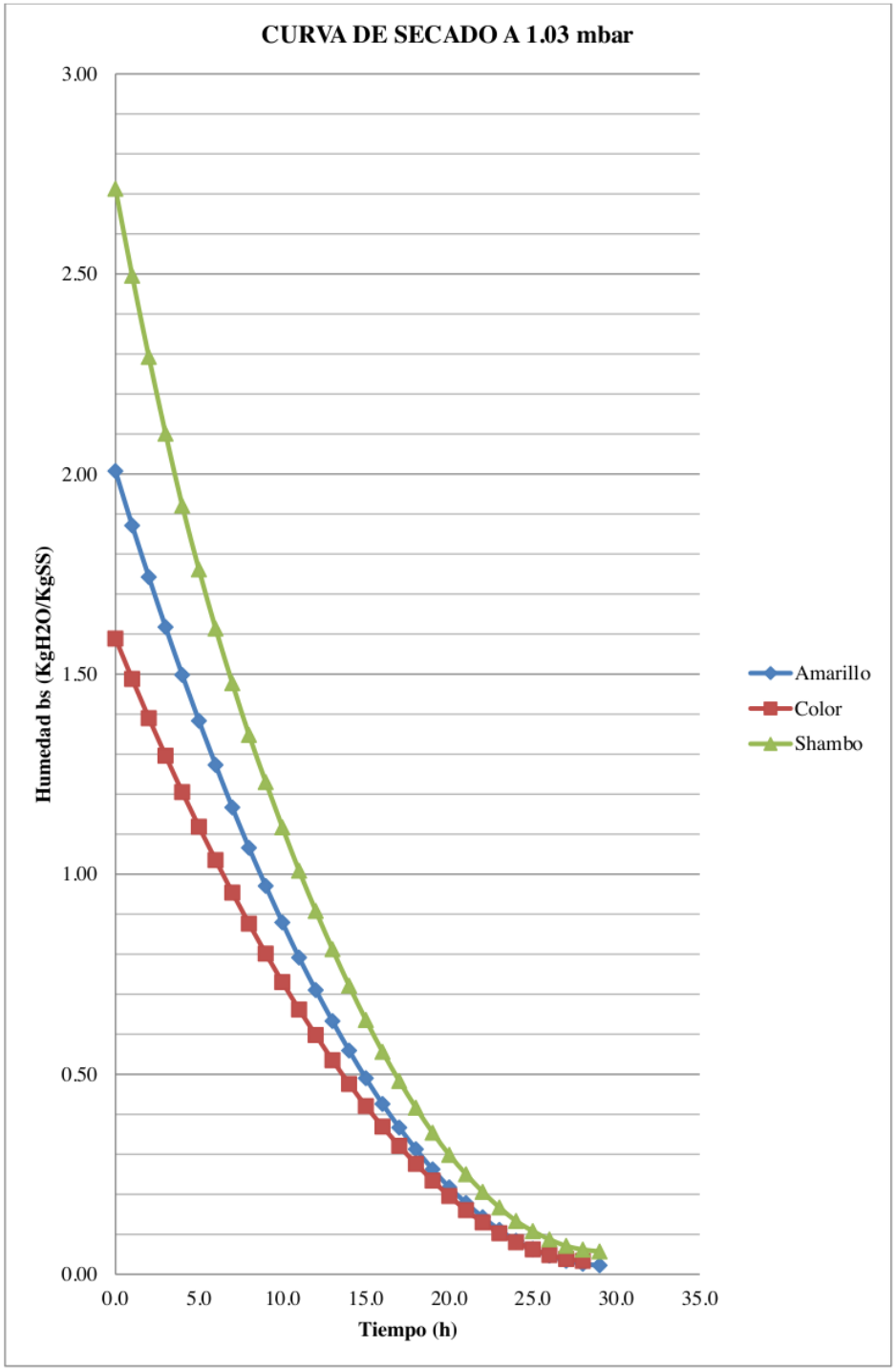


Figura 12. Curva de secado a 1.03 mbar.

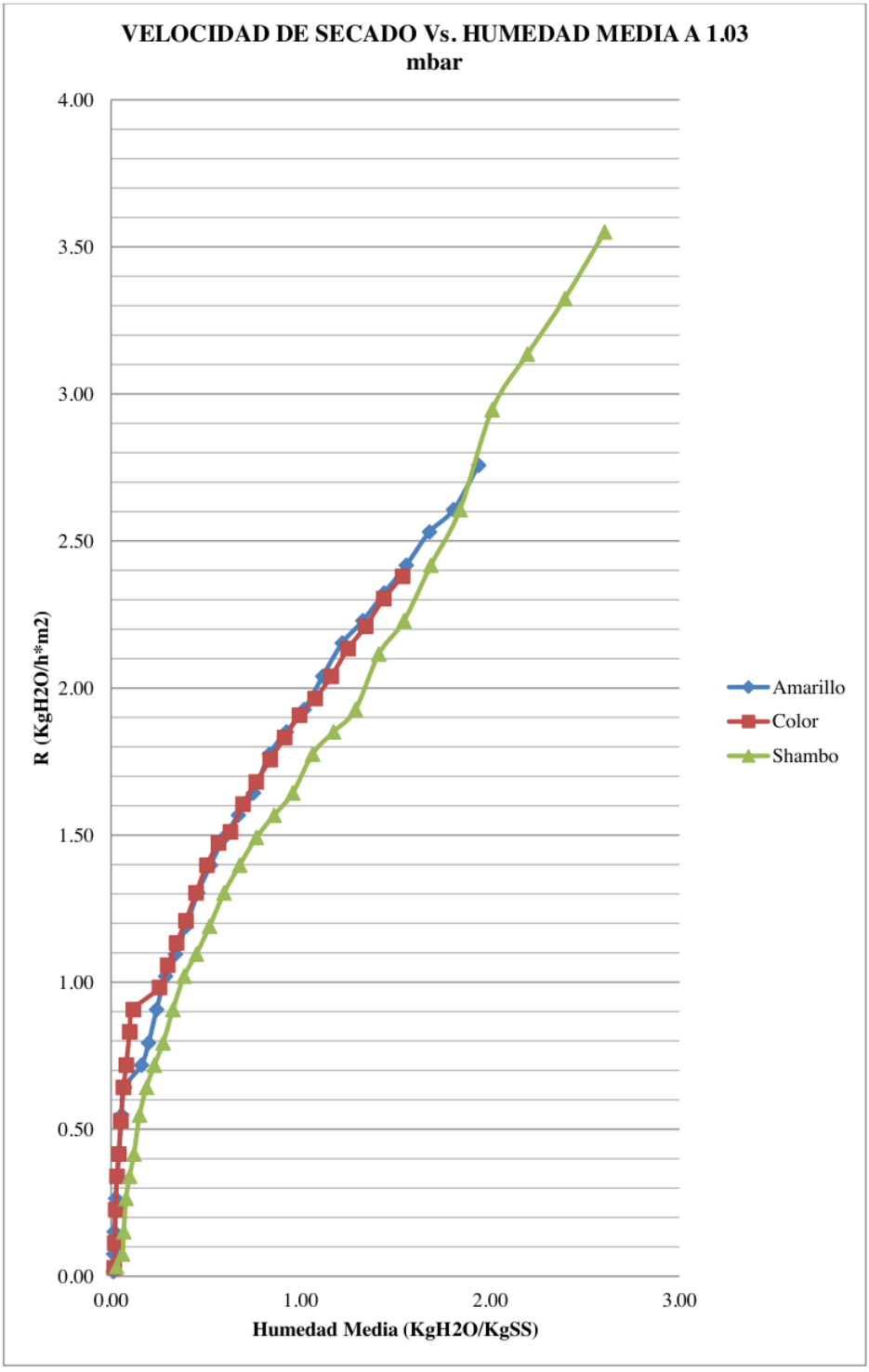


Figura 13. Velocidad de secado Vs. Humedad media a 1.03 mbar.

Teniendo los diversos gráficos, podemos confrontar los datos por morfotipo y por condiciones de proceso, de la siguiente manera:

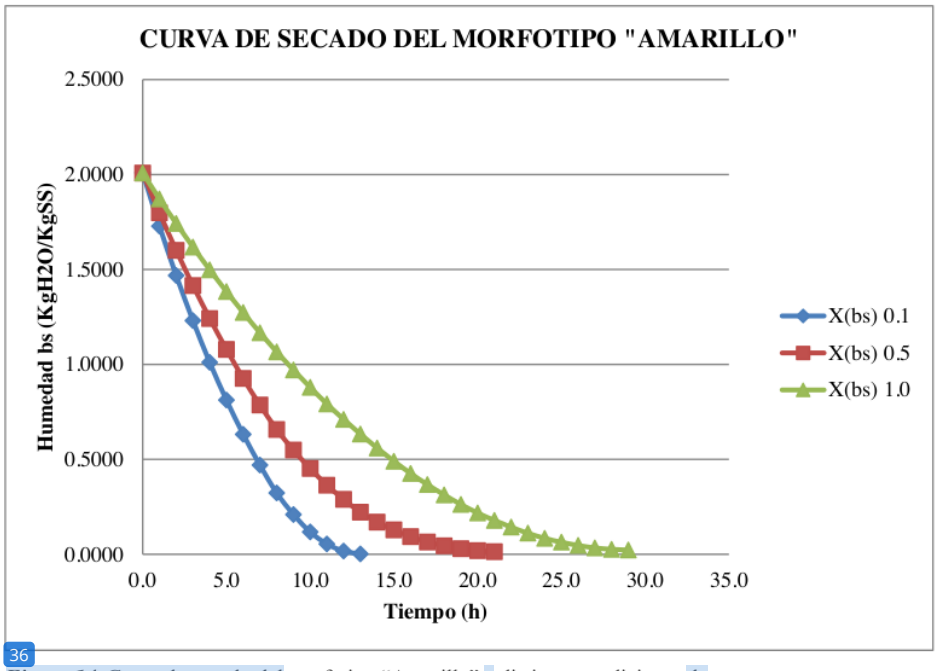


Figura 14. Curva de secado del morfotipo "Amarillo" a distintas condiciones de proceso.

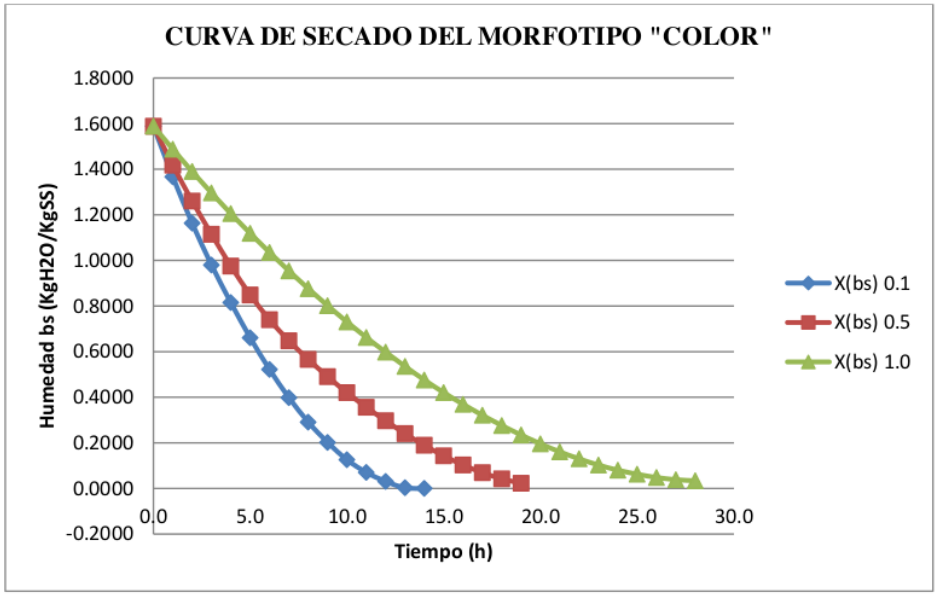


Figura 15. Curva de secado del morfotipo "Color" a distintas condiciones de proceso.

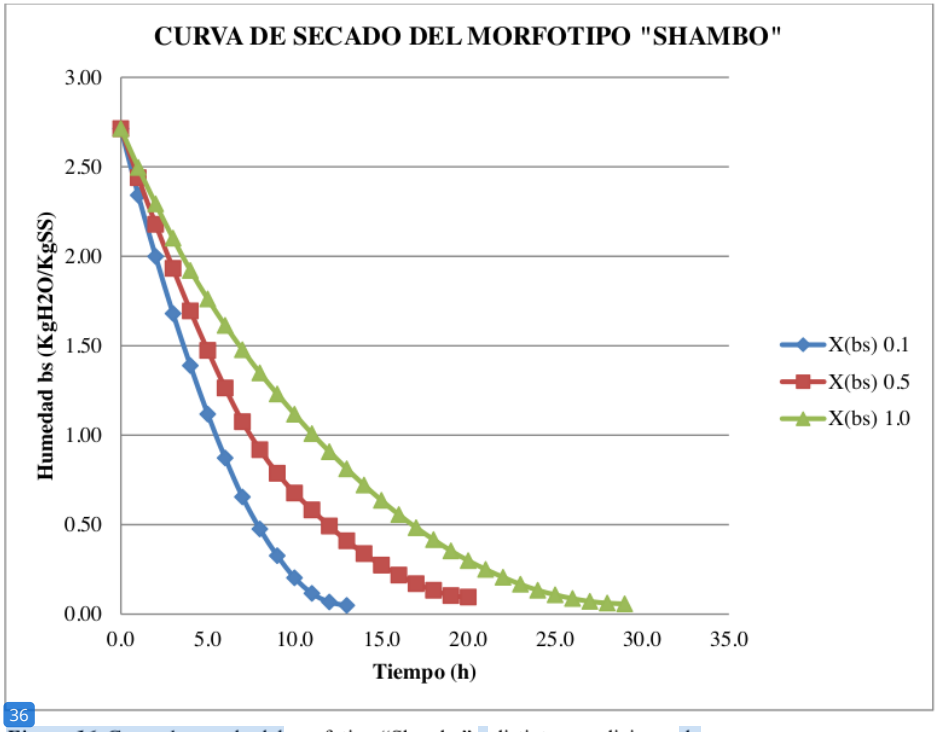


Figura 16. Curva de secado del morfotipo "Shambo" a distintas condiciones de proceso.

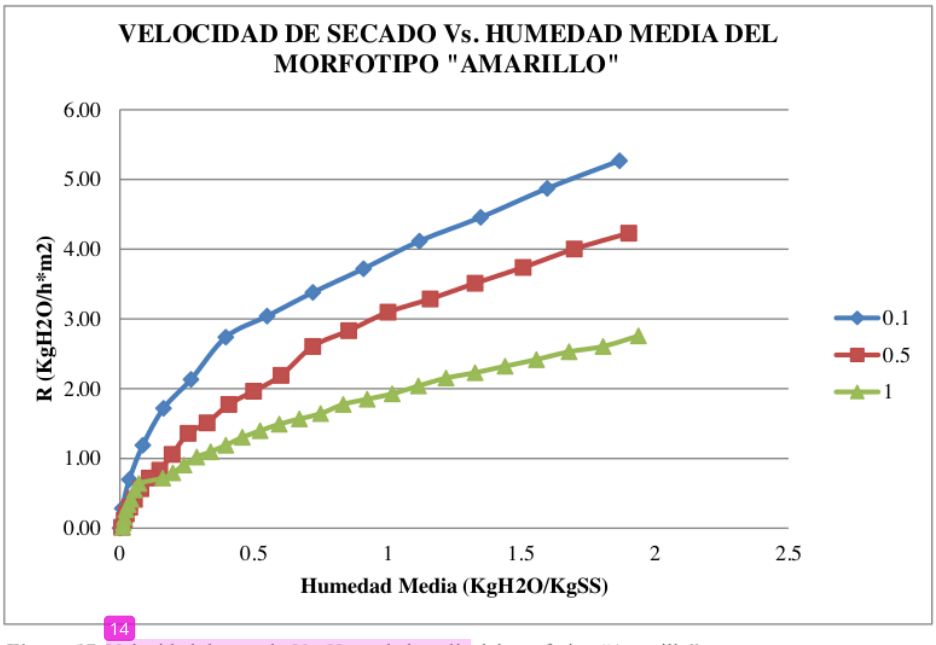


Figura 17. Velocidad de secado Vs. Humedad media del morfotipo "Amarillo".

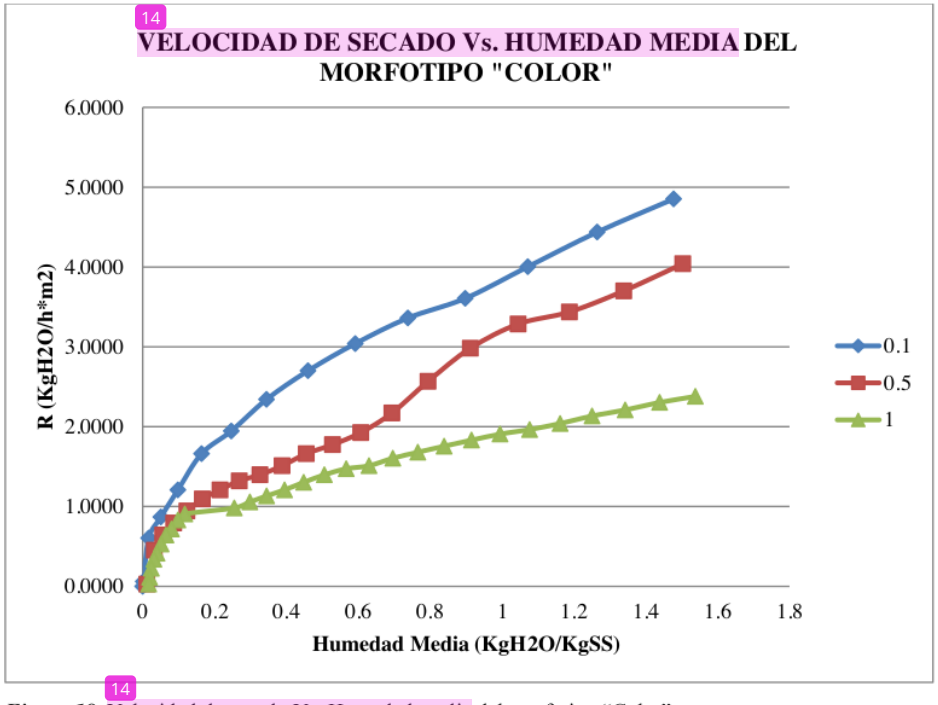


Figura 18. Velocidad de secado Vs. Humedad media del morfotipo "Color".

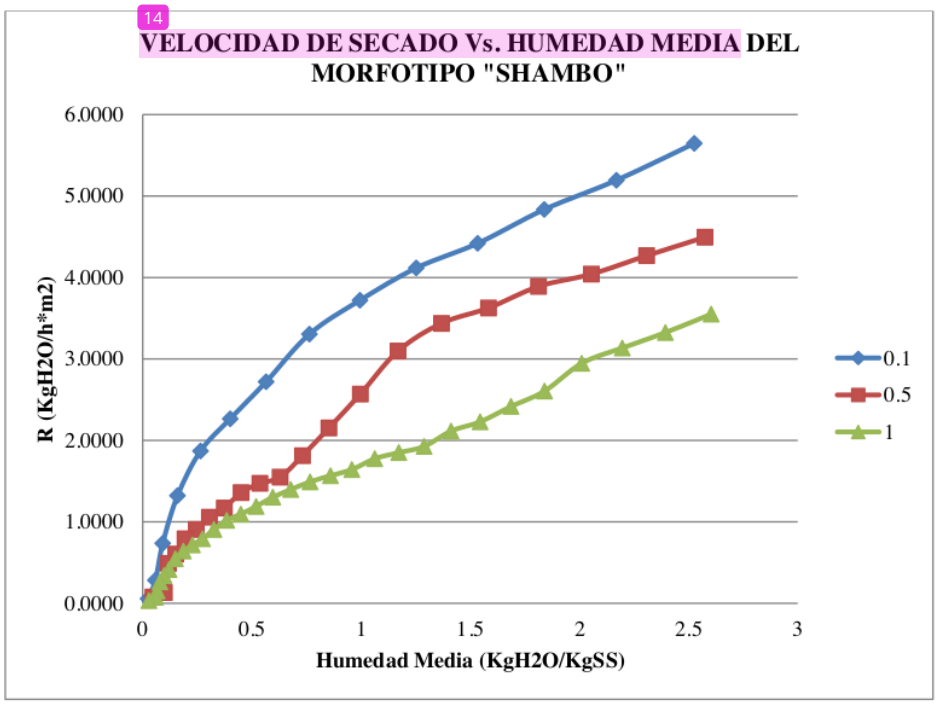


Figura 19. Velocidad de secado Vs. Humedad media del morfotipo "Shambo".

Como apreciamos, lo más resaltante en el proceso de liofilización es el tiempo que tarda en secarse un producto en función de las condiciones de proceso, a menos presión de vacío en el proceso el tiempo es menos, a medida que la presión aumenta el tiempo que tarda en secarse el material consecuentemente será mayor.

Una curva de secado se obtiene al representar la humedad del alimento en base seca frente al tiempo de secado (Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 1996). En las *Figuras 8, 10, 12, 14, 15* y *16* se representan las curvas de secado de la pulpa de aguaje por presión y por morfotipo.

En las *Figuras 8, 10* y *12* se observa que los morfotipos siguen el mismo patrón de comportamiento a diferentes condiciones de proceso respecto a la pérdida de humedad en base seca y al tiempo, siendo el morfotipo "shambo" el que empieza con mayor humedad llegando al final del proceso a puntos cercanos a cero. Del mismo modo en las *Figuras 9, 11* y *13*, se repite el mismo comportamiento de los morfotipos con respecto a la humedad y la velocidad de secado, en donde es nuevamente el morfotipo "shambo" el que destaca por tener una velocidad de secado más amplia que los otros morfotipos y siendo el morfotipo "color" el que tiene una velocidad de secado más corta, por la propia humedad presente en las muestras, independiente de las condiciones de proceso.

Al terminar el proceso de liofilización, los morfotipos de pulpa de aguaje presentaron contenidos de humedad entre 0.0003 y 0.0952 kg H_2O/kg s.s., siendo todos estos valores inferiores a 0.1 kg H_2O/kg s.s., lo que nos indica que la humedad final de las muestras fueron menores al 10% en base húmeda, que también está representada en el último renglón de cada tabla de cinética de secado.

El espesor y el área de secado son factores determinantes en el tiempo de secado necesario para el proceso de liofilización (Márquez-Aquino et. al., 2009), por tal motivo fue importante la medición de los mismos como se aprecian en los Ítems A4, A5 y A6 del Anexo A.

3.3.2. Velocidad de secado:

En las *Figuras 9, 11, 13, 17, 18* y *19* se representan las curvas de velocidad de secado en función de la humedad, los tres primeros nombrados graficados en función de las condiciones y los tres siguientes graficados en función del morfotipo. Estas curvas ayudan a conocer la rapidez con la que el alimento

pierde agua. En las curvas de velocidad de secado generalmente se presentan dos periodos: el periodo de velocidad constante y el periodo de velocidad decreciente (Márquez-Aquino et. al., 2009). Estos periodos no son muy visibles en el proceso de secado por liofilización, por lo tanto no se podría elaborar gráficas que lo representen.

El periodo de velocidad constante no se observa comúnmente en las curvas de secado de alimentos. El periodo de velocidad decreciente ocurre cuando la velocidad de secado empieza a disminuir, además, la actividad de agua en la superficie del producto se hace menos a la unidad (Heldman y Singh, 1981). La cantidad de agua eliminada en este periodo puede ser baja, mientras que el tiempo requerido para llevar a cabo el proceso de secado puede ser elevado, ya que la velocidad de secado disminuye (Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 1996).

En las *Figuras 17, 18* y *19* se observa que la velocidad inicial de secado es alta, ya que la resistencia de los flujos de masa y energía es pequeña. La transferencia de materia desde el frente de hielo se reduce a medida que el espesor de la capa seca aumenta (Babica et. al., 2009). Por lo tanto, la velocidad de secado es más lenta cuando el producto que se está deshidratando ya que está más seco por el proceso.

En las *Figuras 9, 11, 13*, se aprecian la ausencia del periodo de velocidad constante y la elevada velocidad inicial de secado, sobretodo del morfotipo "Shambo".

3.3.3. Predicciones matemáticas para la cinética de secado:

Aplicando la Ecuación (11) y con la ayuda de los Ítems Numerados del A4 al A15 del Anexos A, usando los datos de las humedades (X_{bs}, X_{medio} y X_{bh}) podemos determinar la fuerza impulsora (Y_w).

Tomando la Ecuación (10) y en aplicación de lo mencionado por Geankoplis (1993) la ecuación para la determinación de la difusividad efectiva del agua (D_e) quedará de la siguiente manera:

$$Y_w^t = \frac{8}{\pi^2} \cdot \exp\left(-\frac{D_e \cdot \pi^2 \cdot t}{4 \cdot \left(\frac{x_i}{2}\right)^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{D_e \cdot \pi^2 \cdot t}{4 \cdot \left(\frac{y_i}{2}\right)^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{D_e \cdot \pi^2 \cdot t}{4 \cdot \left(\frac{z_i}{2}\right)^2}\right) \qquad (15)$$

Siendo: x_i, y_i y z_i el ancho, largo y espesor de la muestra respectivamente.

De igual manera, para la aplicación del modelo de Page, reemplazamos la Ecuación (11) en la Ecuación (13) obteniendo lo siguiente:

$$Y_w^t = \exp(-k \cdot t^n) \qquad (16)$$

En aplicación de los modelos matemáticos mencionados con las fórmulas de las Ecuaciones (15) y (16) y utilizando el programa estadístico Origin 5.0, obtenemos la Tabla 14:

Tabla 14

Parámetros cinéticos obtenidos tras el ajuste de los datos experimentales a los dos modelos: modelo de Difusividad de Fick (D_e) y modelo de Page (k, n), y la tendencia o grado de ajuste (R^2).

MORFOTIPO	PRESIÓN	MODELO DE FICK		MODELO DE PAGE		
		D_e (10^{-10})	R^2	k (10^{-6})	N	R^2
Amarillo	0.101	1.4668	0.53107	2.666	1.3	0.99429
	0.501	1.09484	0.62766	2.86139	1.25894	0.99742
	1.03	0.67843	0.59063	1.59436	1.26218	0.99457
Color	0.101	1.43916	0.59082	3.42984	1.27822	0.99466
	0.501	0.97555	0.59316	4.64336	1.20661	0.99529
	1.03	0.64058	0.56462	1.24951	1.28153	0.9934
Shambo	0.101	1.47365	0.57348	2.54494	1.31289	0.9947
	0.501	1.06463	0.61625	4.03893	1.2252	0.99781
	1.03	0.7303	0.62489	2.65366	1.22151	0.99473

Con la determinación de estos parámetros y sobretodo conociendo el grado de ajuste podemos precisar cuál de los métodos es el que dio mejores resultados al momento de la evaluación de los parámetros cinéticos. Para demostrarlo, tomamos una de las evaluaciones y la confrontamos gráficamente para poder observar cuanto se ajusta cada modelo a lo obtenido en la investigación; de tal manera la *Figura 20* nos muestra las curvas de la fuerza impulsora (Yw) versus el tiempo (t) de ambas maneras (encontrado experimentalmente y determinado por la aplicación del modelo matemático).

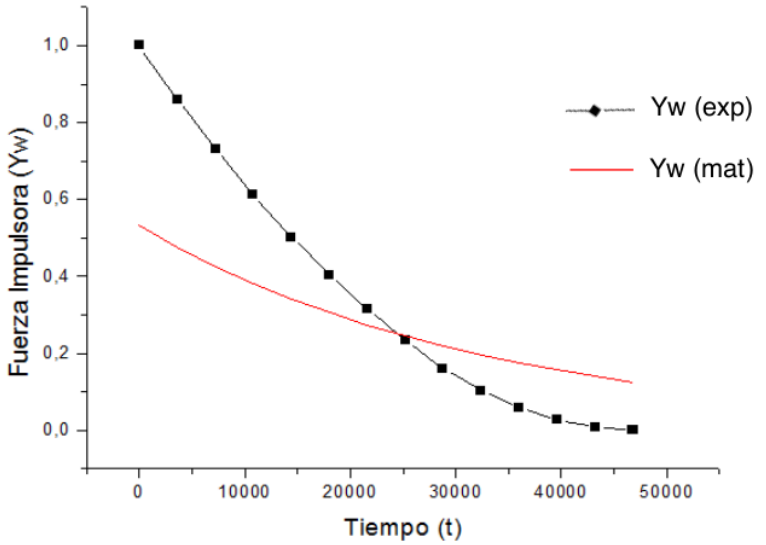


Figura 20. Fuerza impulsora Vs. Tiempo del morfotipo "Amarillo" a 0.101 mbar.

Pudiendo afirmar de esta manera que la aplicación de la segunda Ley de Fick no se ajusta a la realidad de lo determinado experimentalmente.

De igual manera realizamos la confrontación de lo determinado experimentalmente con el Modelo de Page, esto es lo que nos representa la *Figura 21*, en donde también observamos las curvas de la fuerza impulsora (Yw) versus el tiempo (t).

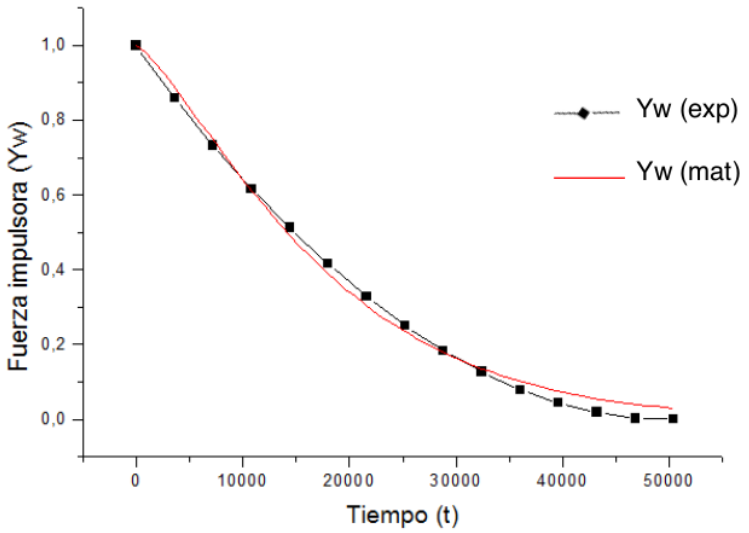


Figura 21. Fuerza impulsora Vs. Tiempo del morfotipo "Color" a 0.101 mbar.

Demostrando así, que la aplicación del Modelo de Page a la presente investigación se ajusta en términos cercanos a la unidad con respecto al R^2 (grado de ajuste).

Para corroborarlo, tomamos los datos de la fuerza impulsora de uno de los ensayos determinados experimentalmente, que se expresan la Tabla 15:

Tabla 15

Fuerza impulsora determinada experimentalmente del morfotipo "Shambo" a 0.101 mbar.

t (seg)	Yw
0	1
3600	0.860345633
7200	0.731900981
10800	0.612330687
14400	0.503035965
18000	0.401214386
21600	0.309201308
25200	0.227463802
28800	0.160205511
32400	0.104156936
36000	0.057916861
39600	0.025221859
43200	0.007006072
46800	0

Desarrollamos una fórmula basándonos en la información de la Tabla 15, tomando como base la Ecuación (16):

$$Y_w^t = \exp(-2.54494\ x10^{-6} \cdot t^{1.31289}) \qquad (17)$$

De esta manera podemos obtener el valor de la fuerza impulsora en cada tiempo dado por el modelo en aplicación (Modelo de Page). Información que se detalla en la Tabla 16:

Tabla 16

Fuerza impulsora determinada matemáticamente aplicando el Modelo de Page, del morfotipo "Shambo" a 0.101 mbar.

Tiempo (seg)	Yw
0	1
3600	0.888010859
7200	0.744476562
10800	0.60502799
14400	0.480428041
18000	0.374331893
21600	0.286976132
25200	0.216886008
28800	0.16182349
32400	0.119334783
36000	0.087057213
39600	0.062875735
43200	0.044986171
46800	0.031902889

Con los datos mostrados en las Tablas 15 y 16 podemos hacer una gráfica para demostrar que el grado de ajuste es efectivamente el que se predijo según el modelo en aplicación (Modelo de Page). Esto es lo que nos demuestra la *Figura 22*, en donde podemos apreciar ambas curvas y como estas no difieren mucho una de la otra.

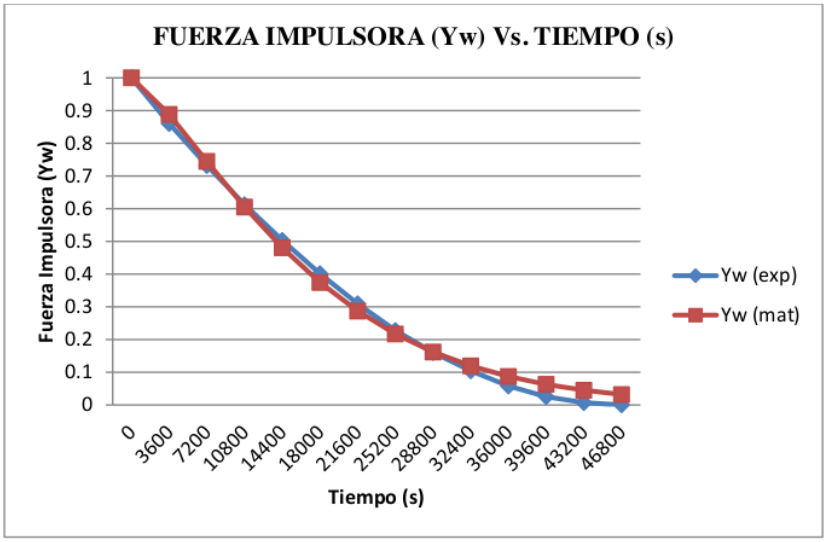


Figura 22. Fuerza Impulsora Vs. El tiempo representadas matemática y experimentalmente del morfotipo "Shambo" a 0.101 mbar.

Los valores obtenidos para la difusividad efectiva después de aplicar la segunda Ley de Fick, usando el desarrollo matemático de Crank (1975), difieren de lo publicado por diferentes autores, como lo reportado por Giraldo et al., (2003) para deshidratación osmótica de cubos de mango o lo que manifiesta Talens (2002) en la deshidratación osmótica de mitades de fresa. Un trabajo similar aplicado al proceso de liofilización realizado por Monteagudo et al. (2013) que en la aplicación de métodos combinados para la obtención de kiwi en polvo de alta calidad también reporta notorias diferencias con la investigación desarrollada; ciertamente por tratarse de materiales diferentes, en condiciones diferentes y sobre todo por las características que diferencian la pulpa de aguaje de la pulpa de otras frutas. En cambio, lo obtenido para los valores de las constantes del modelo de Page, tuvieron similitud a las publicadas por Contreras et al., (2008); Prabhanjan et al., (1995) para otras frutas y de cierta manera, una aproximada similitud a los valores obtenidos por Monteagudo et al. (2013) en la aplicación de un proceso similar.

En base a los dos modelos aplicados (Tabla 9), los parámetros cinéticos resultantes ponen de manifiesto dos puntos: en primer lugar, que las muestras liofilizadas a menor presión oponen una resistencia menor a la disminución de agua que las muestras tratadas a condiciones más elevadas de presión, por tanto tuvieron valores de difusividad más altos, siendo este efecto observado en las muestras que se liofilizaron a 0.101 mbar de presión, lo que en términos prácticos resultar en un proceso de secado más rápido y menos costoso.

Por otro lado, según el modelo de Page, los valores de ¨k¨ más elevados se dan en muestras liofilizadas a una presión media, por lo tanto en estas existe una menor resistencia a la pérdida de agua, mientras que en las muestras tratadas con bajas condiciones de presión tienden a representar un punto medio. Las muestras tratadas a condiciones más altas representan valores menores dentro de esta escala.

Tomando como referencia el grado de ajuste obtenido por cada modelo matemático que da cuenta que lo obtenido según la aplicación del Modelo de Page es mucho más aplicable a la realidad, podemos decir que condiciones de proceso medias y bajas, dan como resultado un proceso de secado más óptimo, sin descartar el hecho de que a menores condiciones de presión el proceso de secado sea más rápido.

Otro punto importante encontrado en la investigación, fue el hecho de que el análisis por el método de difusión evaluado con la aplicación de la Segunda Ley de Fick no se ajusta a la realidad de lo encontrado experimentalmente, de esta manera podemos afirmar que la desecación del alimento evaluado no se da exactamente por difusión, y podría darse por otros fenómenos como la capilaridad como sugiere Geankoplis (1993). Dicho fenómeno y las paredes celulares de las muestras pueden guardar estrecha relación como mencionan Maskan y Gögus (1998).

Con la finalidad de comprobar la efectividad del modelo de Page, se elaboró la curva de la Fuerza Impulsora versus el tiempo teóricamente usando valores de la Ecuación (16) ajustada y se graficó junto con la misma curva obtenida experimentalmente para una de las muestras. En términos de la *Figura 21*, puede deducirse que el modelo se adecua al desarrollo de la fuerza impulsora (Y_w) en función al tiempo de liofilización. Por ello, el modelo de Page es el más adecuado para considerar al momento de predecir cinéticas de liofilización en morfotipos de aguaje, lo que resulta de gran utilidad a la hora de determinar rendimientos de operación y optimizar las condiciones de proceso como manifiesta Fahloul et al. (2009) que obtuvo resultados similares para la liofilización de mitades de albaricoque.

3.4. Capacidad de rehidratación

En la Tabla 17 tenemos los resultados de esta evaluación, en donde apreciamos el contenido en sólidos solubles (SS) y sólidos totales (ST) de las muestras y la capacidad de rehidratación (CR) que se obtuvo por cada una de ellas.

Tabla 17

Capacidad de rehidratación de tres morfotipos de aguaje liofilizado tratado en tres condiciones de procesos diferentes.

MORFOTIPO	PRESIÓN (mb)	T°	SS	ST	CR	%R
Amarillo	0.1	30	12.63	33.24	0.38	38
	0.5		12.30	33.24	0.37	37
	1		12.30	33.24	0.37	37
	0.1	40	13.63	33.24	0.41	41
	0.5		13.63	33.24	0.41	41
	1		13.96	33.24	0.42	42
	0.1	50	16.29	33.24	0.49	49
	0.5		15.96	33.24	0.48	48
	1		15.96	33.24	0.48	48
Color	0.1	30	11.89	38.37	0.31	31
	0.5		12.28	38.37	0.32	32
	1		11.89	38.37	0.31	31
	0.1	40	13.43	38.37	0.35	35
	0.5		13.43	38.37	0.35	35
	1		13.43	38.37	0.35	35
	0.1	50	16.12	38.37	0.42	42
	0.5		16.50	38.37	0.43	43
	1		16.12	38.37	0.42	42
Shambo	0.1	30	11.22	26.71	0.42	42
	0.5		11.22	26.71	0.42	42
	1		10.95	26.71	0.41	41
	0.1	40	12.82	26.71	0.48	48
	0.5		13.36	26.71	0.5	50
	1		12.82	26.71	0.48	48
	0.1	50	14.69	26.71	0.55	55
	0.5		14.69	26.71	0.55	55
	1		14.42	26.71	0.54	54

Con los resultados obtenidos para rehidratación, elaboramos gráficos de superficie respuesta representados en las *Figuras 23, 24* y *25*; para determinar la influencia de los factores (temperatura de rehidratación, morfotipo y presión) en la rehidratación. La influencia significativa de cada temperatura se observa en los Ítems A26 y A27 del Anexo A.

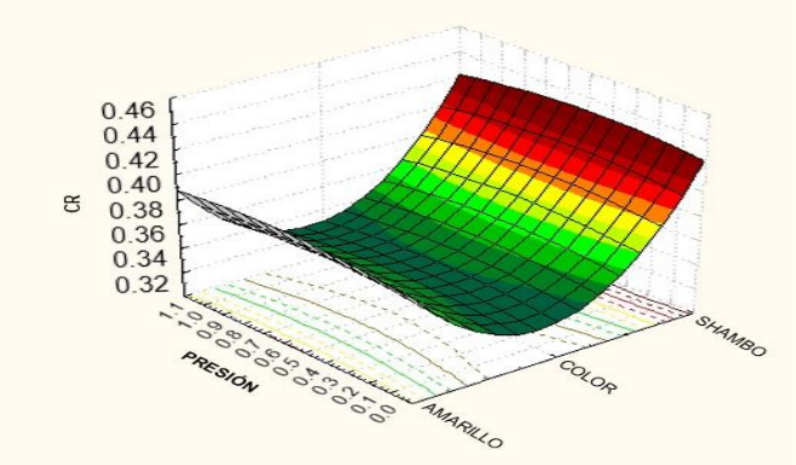


Figura 23. Figura de superficie respuesta a 30º C.

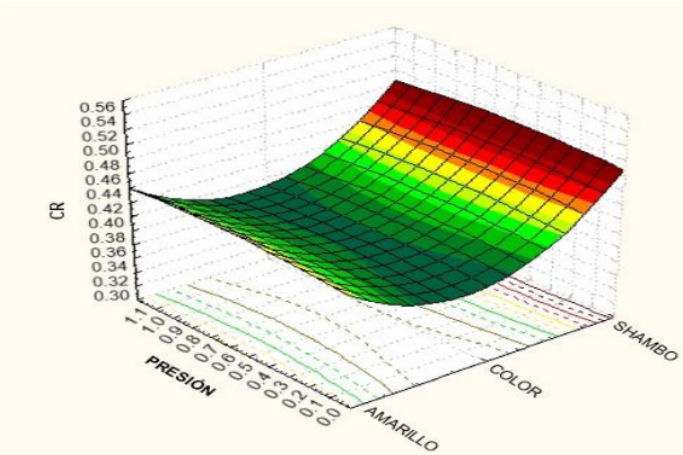


Figura 24. Figura de superficie respuesta a 40º C.

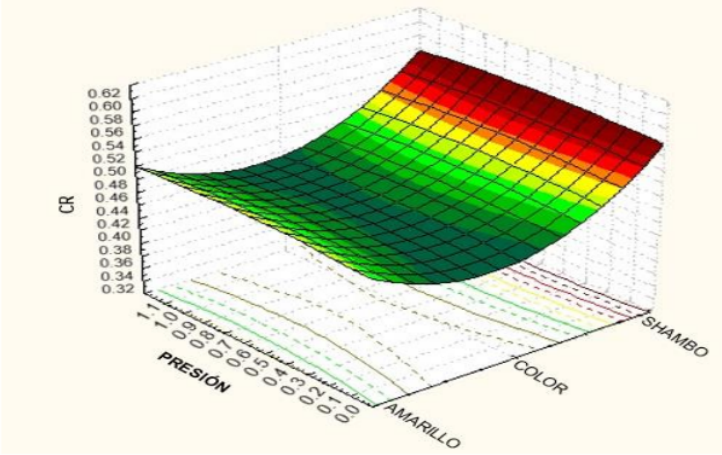


Figura 25. Figura de superficie respuesta a 50º C.

En la Tabla 17 apreciamos diferencias entre los morfotipos y la temperatura con respecto a la capacidad de rehidratación. Por ejemplo el morfotipo color presenta menor CR a 30° C, en cambio el morfotipo Shambo es el que presenta mayor CR a 50° C; aun así podemos decir que es muy bajo comparado con otros productos secos que se rehidrataron.

Según Marques et al. (2009), una característica fundamental de los productos en polvo es su comportamiento frente a la rehidratación. Agnieszka y Andrzej (2010) mencionan que la rehidratación y otras características dependen en gran medida del método de deshidratación aplicado, esto es muy cierto, pero en este caso el morfotipo y el alto contenido de fibra de cada una de ellos también influye mucho para que su CR sea tan bajo (Tratado de Cooperación Amazónica, 1997), ya que la fibra alimentaria presente en algunos alimentos no es soluble en agua (Heredia et al., 2002).

3.5. Caracterización del producto final:

3.5.1. Caracterización de la pulpa liofilizada:

Esta fue la última etapa, en donde se seleccionó el producto con los mejores resultados y características, que fue evaluado de acuerdo a la obtención de un producto de calidad con un tiempo óptimo de secado, siendo seleccionada la pulpa liofilizada a 0.101 mbar, ya que se obtuvo un producto con buenas características en menor tiempo, haciendo que el gasto de energía sea menor.

Se realizó el respectivo análisis proximal de la pulpa liofilizada para comprobar si las muestras conservan y/o mantienen sus propiedades y características físicas y nutricionales, o en qué medidas estas se pierden. Los ensayos se realizaron por triplicado y posteriormente se sacaron promedios. Los resultados se resumen en las Tablas 18 y 19, donde se observan el pH y la acidez y el contenido de humedad, proteínas, grasa, cenizas y fibra respectivamente.

Tabla 18

pH y acidez de la pulpa liofilizada a 0.101 mbar.

MORFOTIPO	Ph	ACIDEZ ($g_{ácido}$/100g)
Amarillo	3.24	0.75
Color	3.09	0.76
Shambo	3.17	0.72

Tabla 19

Análisis proximal de la pulpa liofilizada a 0.101 mbar.

ANÁLISIS (%)	MORFOTIPO		
	Amarillo	**Color**	**Shambo**
Humedad	7.33	7.79	5.69
Ceniza	0.3347	1.189	1.734
Grasa	47.52	46.58	54.14
Proteína	3.55	3.78	3.222
Fibra	38.0	37.5	28.41

En las Tablas 18 y 19 apreciamos además de las diferencias entre los morfotipos, que si se presentan variaciones relevantes si comparamos los análisis de las muestras frescas con los que se presentan en dichas tablas.

Si se realiza una comparación entre la Tabla 6 y la Tabla 18, podremos apreciar que en este último la disminución del pH y el aumento de la acidez son evidentes, no en rangos demasiado amplios pero que de manera general son significativos para las muestras.

31 Liofilización es la sublimación de agua a partir de hielo operando a vacío elevado y a temperaturas inferiores a 0° C (Geankoplis, 1998) y en este caso solo debería considerarse como una pérdida de agua, mas no de otras características si comparamos la Tabla 7 con la Tabla 19.

Luján (2010) realizó la caracterización de tres morfotipos de aguaje liofilizado, analizando los porcentajes de humedad, ceniza, aceites y proteína. Encontró que la humedad en las muestras secas de aguaje varía en el 2 y el 8%, valores que se aproximan a nuestras muestras, ya que como observamos en la tabla 19, en nuestro análisis nos arrojan resultados entre 5 y 7%. En esta investigación, además coincidimos con los demás datos presentados en el trabajo en mención salvo por una variación en el contenido de ceniza del morfotipo amarillo que solo presenta un 0.3347% muy bajo a comparación de las otros morfotipos que presentan valores por encima del 1% que pueden deberse a errores o problemas con el tratamiento de las muestras.

3.5.2. Densidad:

Se determinó siguiendo el mismo procedimiento que se usó para la determinación de la densidad en la pulpa fresca; primero, densidad aparente y luego densidad compactada. Los resultados se observan en la Tabla 20.

Tabla 20

Densidad aparente y compactada de la pulpa liofilizada de tres morfotipos de aguaje.

MORFOTIPO	DENSIDAD APARENTE (g/cm^3)	DENSIDAD COMPACTADA (g/cm^3)
Amarillo	0.4642	0.7520
Color	0.4420	0.6439
Shambo	0.4274	0.5976

Con los valores determinados de densidad de la pulpa liofilizada elaboramos el gráfico de superficie respuesta (*Figura 26*) que deriva del análisis estadístico de los Ítems A16 y A17 del Anexo A.

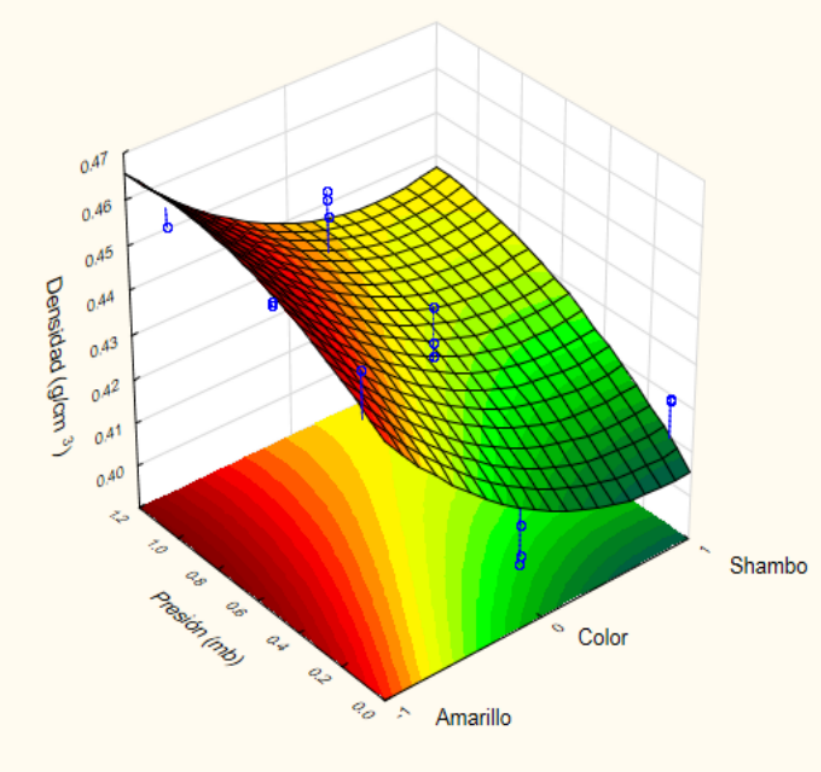


Figura 26. Figura de superficie respuesta para densidad en función de presión y morfotipo.

3.5.3. Porosidad:

Se determinó utilizando las densidades de la muestra y del sólido presente en ella. Los resultados se resumen en la Tabla 21.

Tabla 21

Porosidad de la pulpa liofilizada de tres morfotipos de aguaje.

	Amarillo	Color	Shambo
POROSIDAD	0.18	0.16	0.15

Con los valores obtenidos para la porosidad elaboramos el gráfico de superficie respuesta (*Figura 27*) que deriva del análisis estadístico de los Ítems A18 y A19 del Anexo A.

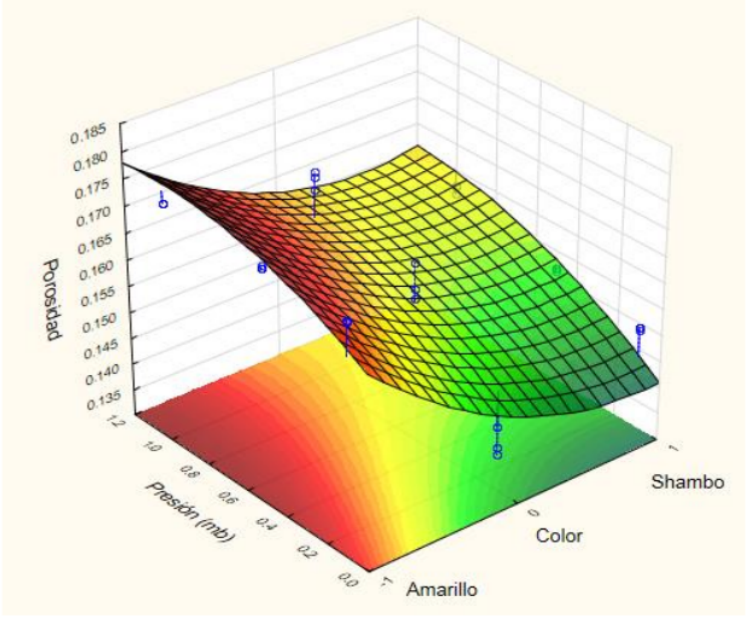


Figura 27. Figura de superficie respuesta para porosidad en función de presión y morfotipo.

3.5.4. Color:

Se realizó usando un colorímetro y los resultados se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22

Evaluación del color de la pulpa liofilizada de tres morfotipos de aguaje.

MORFOTIPO	**L**	**a***	**b***
Amarillo	35.24	8.68	13.07
Color	38.38	1.65	10.20
Shambo	44.78	6.15	8.20

Con los valores obtenidos representamos la luminosidad (L), tendencia al rojo (a*) y tendencia al verde (b*) en la pulpa liofilizada en la *Figura 28*.

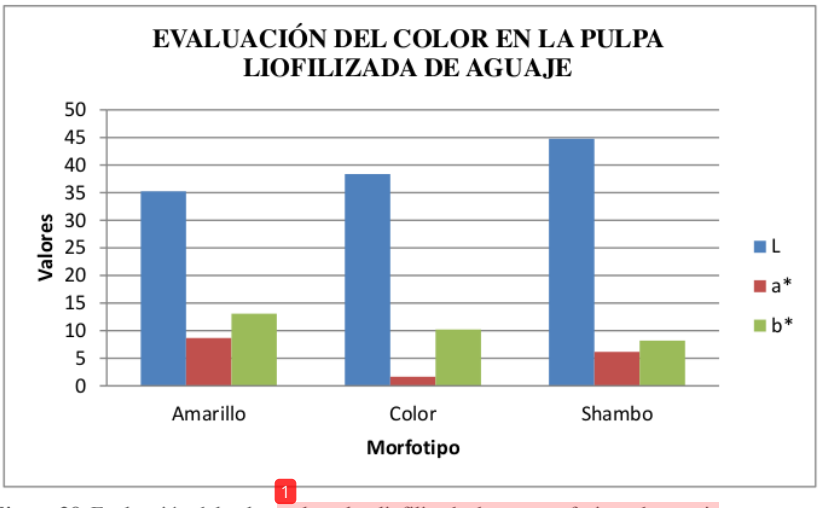


Figura 28. Evaluación del color en la pulpa liofilizada de tres morfotipos de aguaje.

Al igual que en la Tabla 22, en la Tabla 23 se observa las condiciones y el morfotipo en los valores de color pero esta vez se realiza un análisis más específico para esta evaluación.

Tabla 23

Influencia de las condiciones y el morfotipo en los valores de Color.

Presión	Morfotipo	L	a*	b*
0.1		35.24	8.68	13.07
0.5	Amarillo	35.99	10.12	14.29
1		36.7	11.5	15.3
0.1		38.38	1.65	10.2
0.5	Color	40.92	2.3	13.21
1		42.8	3.35	16.01
0.1		44.78	6.15	8.2
0.5	Shambo	46.35	7.58	10.34
1		47.5	8.7	12.4

De la misma manera, elaboramos gráficos de superficie respuesta con los valores de luminosidad (L), tendencia al rojo (a*) y tendencia al verde (b*) de la pulpa liofilizada (*Figuras 29, 30* y *31*) derivados de sus respectivos análisis estadísticos de los Ítems A20 y A21 para luminosidad, los Ítems A22 y A23 para la tendencia al rojo y los Ítems A24 y A25 para la tendencia al verde (ver Anexo A).

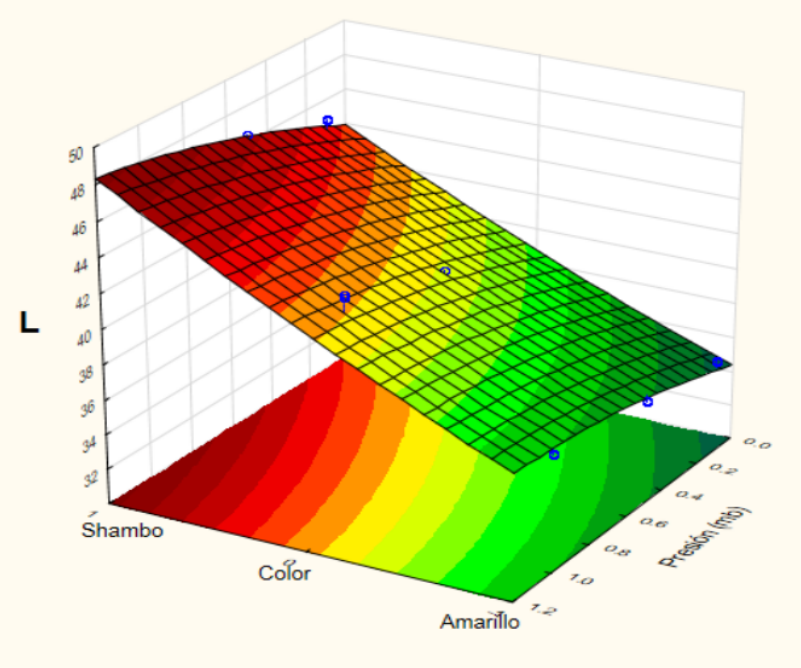


Figura 29. Figura de superficie respuesta para L en función de presión y morfotipo.

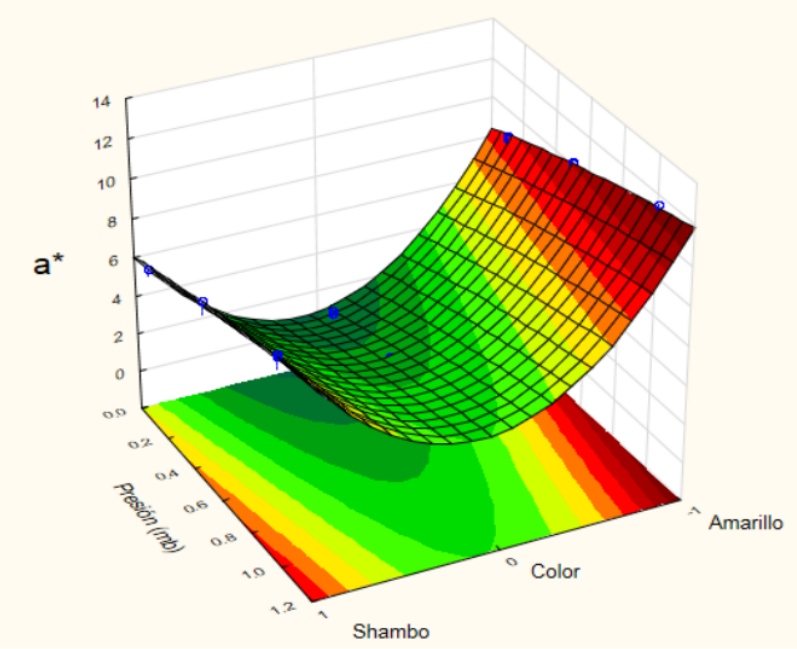


Figura 30. Figura de superficie respuesta para a* en función de presión y morfotipo.

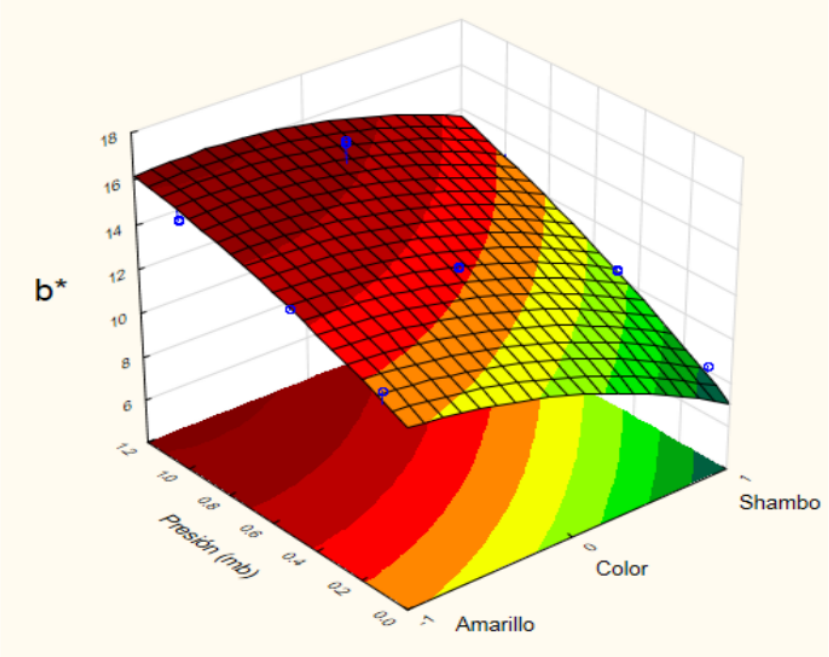


Figura 31. Figura de superficie respuesta para b* en función de presión y morfotipo.

Los cambios en las densidades de las muestras de aguaje en sus tres morfotipos durante el proceso de liofilización se indican en la *Figura 26*; subsecuentemente en la *Figura 27* tenemos las porosidades después del proceso de liofilización de los tres morfotipos evaluados. Se observó antes de la evaluación la baja porosidad de la muestra fresca de aguaje, por contener agua en su interior. Puede notarse que la porosidad fluctúa entre 0.15 y 0.18 concordante con una muestra seca. Los valores de la porosidad de los tres morfotipos es compatible con lo encontrado por Marques *et al*. (2009) en diferentes frutas liofilizadas (guayaba, piña, papaya y mango).

En las *Figuras 7* y *28* se puede apreciar las diferencias entre los valores de luminosidad (L), tendencia al rojo (a*) y tendencia al verde (b*) de la pulpa de tres morfotipos de aguaje, antes y después del proceso de liofilización.

No existen en la actualidad trabajos publicados en donde se hable de la variación del color durante el proceso de liofilización, pero es evidente, según las gráficas, que solo existe una disminución tanto en la luminosidad como en la tendencia al rojo y al verde, lo que no debe afectar otras características físicas o nutricionales, tratando del aguaje en este caso.

3.5.5. Determinación de vitamina A:

Los resultados se aprecian en la Tabla 24.

Tabla 24

Determinación de vitamina A en forma de β-Caroteno y Retinol de la pulpa liofilizada de aguaje a 0.101 mbar.

	Amarillo	Color	Shambo
β-Carotenos (mg/100g)	87.46	82.14	85.62
Retinol (mg/100g)	612.24	606.54	632.15

Para interpretar y comparar mejor los resultados de las Tablas 12 y 24, elaboramos los *Figuras 32* y *33* en donde representamos los valores en β-Carotenos y Retinol respectivamente, en la pulpa fresca y liofilizada de aguaje.

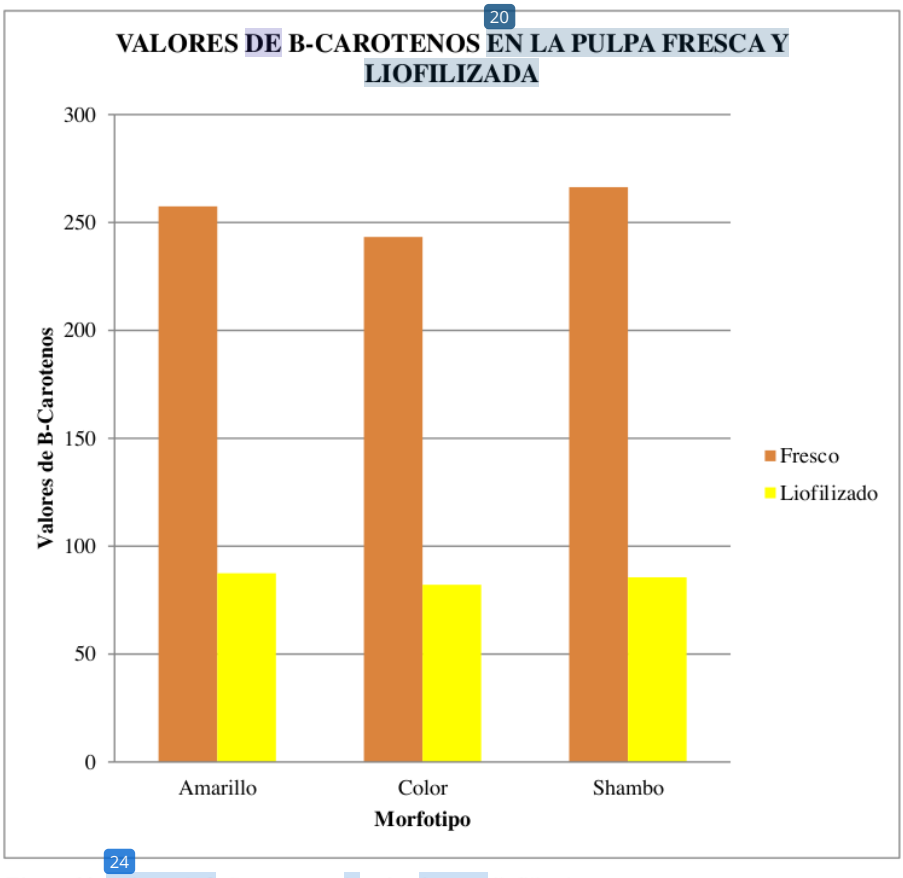


Figura 32. Valores de β-Carotenos en la pulpa fresca y liofilizada.

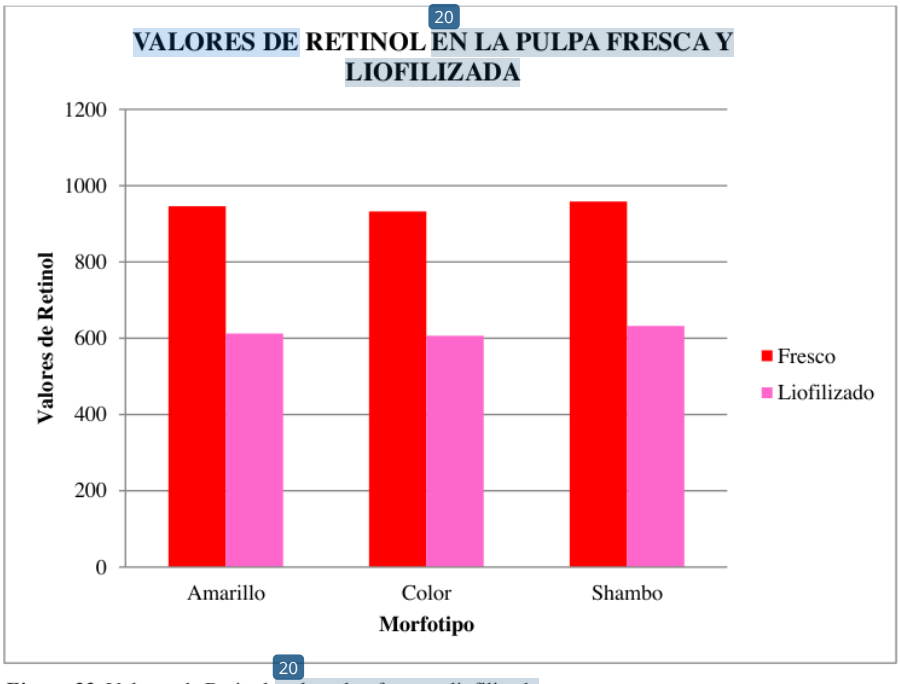


Figura 33. Valores de Retinol en la pulpa fresca y liofilizada.

García (1995) determinó el contenido de ácido ascórbico (vitamina C) presente en la pulpa de Camu camu; de la misma manera en el aguaje fresco y liofilizado se puede determinar el contenido vitamínico ya que se sabe que existe la presencia de carotenos como son: α - caroteno y β - caroteno (pro vitamina A ó vitamina A), α - tocoferol (vitamina E), calciferol, (pro vitamina D ó vitamina D). Esta última, se obtiene a través de la piel, mediante luz solar, por lo tanto se convierte en una ventaja más del consumo del fruto y sus derivados.

Se aprecian los resultados de la cantidad de β-caroteno y retinol contenido en la pulpa de aguaje antes (Tabla 12) y después (Tabla 24) del proceso de liofilizado determinado solo de las muestras a 0.101 mbar ya que en los otros ensayos la evaluación sería poco relevante.

Si comparamos las cantidades tanto de β-Carotenos como de retinol con lo obtenido por Vásquez (2008), al trabajar con pulpa seca, ésta prácticamente triplica lo reportado; pero si lo comparamos con lo obtenido por Lujan (2010), las cifras son similares, por tanto podemos decir que este resultado es concordante, debido a la pérdida de humedad por la pulpa del aguaje, al ser sometida a la operación de deshidratado por liofilización.

CONCLUSIONES

1. El modelo de Page resultó el más adecuado para predecir cinéticas de liofilización en morfotipos de aguaje. Las curvas de secado durante el proceso presentan el mismo comportamiento para los tres morfotipos a distintas condiciones de proceso.

   En el proceso de secado por liofilización es difícil apreciar el periodo de velocidad constante que se observa en el secado por otros métodos.
2. La pulpa de aguaje fresco mantiene sus densidades (aparente y compactada) casi constante ya que el morfotipo no influye en esta característica física y la porosidad de la pulpa de aguaje liofilizado varía entre 0.15 y 0.18 dependiendo del morfotipo.
3. La cantidad de vitaminas evaluadas (β-Carotenos y retinol) fue menor después del proceso de liofilización, notando una evidente degradación de las vitaminas.
4. La capacidad de rehidratación de la pulpa liofilizada de aguaje es muy baja (menor al 0.5) sin importar el morfotipo o las condiciones de proceso y se rehidrata mejor a mayor temperatura del medio rehidratante.

RECOMENDACIONES

- Debe realizarse trabajos posteriores que contribuyan a mejorar la disponibilidad de información con la que se cuenta sobre este fruto nativo.
- El aguaje es un fruto de gran potencial que puede ser aprovechado de diversas maneras, por tanto debe buscarse los medios y la tecnología que permitan darle valor agregado.
- Debe realizarse un posterior trabajo que evalúe el contenido de Vitamina A en este fruto por medio de métodos más exactos o utilizando equipos de mayor tecnología como el HPLC y tener los cuidados necesarios durante los procesos y tratamientos por tratarse de una vitamina termolábil y fotosensible.
- Se debe realizar un estudio que evalúe con mayor profundidad la desecación de productos como la pulpa de aguaje, que permita determinar los fenómenos a los que respondan mejor este tipo de procesos de secado, como la difusión o la capilaridad.
- Se debe realizar la selección de un modelo matemático adecuado ya que este es importante al momento de determinar rendimientos de operación y optimizar las condiciones de proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acero, D. L. E. (1979). Principales plantas útiles de la Amazonía Colombiana. Bogotá: Proyecto Radargramétrico del Amazonas.

Agnieszka, C., Andrzej, L. (2010). Rehydration and sorption properties of osmotically pretreated freeze-dried strawberries. Journal of Food Engineering. New York, United States.

Alegría, G. (1984). Utilización de la pulpa de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*) en la elaboración de helados. Tesis para optar al título profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María.

Alonso, L. (2005). Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos químicos e físicos para análisis de alimentos. (2da ed.) São Paulo.

Amos, A. (1986). Manual de industrias alimentarias. Zaragoza: Ed. Acribia.

Ancasi, C., Gamarra, L., García, D., Gómez, J., Mejía, L., Toledo, R. (2005). Transferencia de Masa y Calor en la Liofilización. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.

A.O.A.C. (1990). Official Methods of Analysis (Vol. 15). Association of Official Agricultural Chemists.

Babica, P., Blaha, L., Marsalek, B. (2009). Exploring the natural role of microcystins - review of effects on photoautotrophic organisms in ice front. Journal of Microbiology. New York, United States.

Barbosa-Cánovas, G., Vega-Mercado, H. (1996). Dehydration of Foods. Springer Science Business media Dordrecht. Missouri, United States.

Barreto, H. (1996). Liofilización un método de secado de alimentos. (1ra ed.). Lima: Editorial Lima.

Belitz, H., Grosh, W. (1982). Química de los alimentos. (2da ed.). Zaragoza: Ed. Acribia.

Boquet, R., Chirife, J., Iglesias, H. (1978). Equations of fitting water sorption isotherms of foods. II. Evaluation of various two parameters models. New York: *J. F. Technology*.

Calzada, B. (1980). 143 Frutales Nativos. Lima: Librería El Estudiante.

Castro, A. (1993). Buritί. In: Clay, J.W. & Clement, (C. Eds.) Selected species and strategies enhance income generation from Amazonian forests. Roma: FO: Mis /93/6. Working Paper. FAO.

Chiralt, A., Castelló, G., Pedro, J. (2007). Efecto de las condiciones de operación en los cambios fisicoquímicos y fisiológicos de frutas mínimamente procesadas por deshidratación osmótica. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Contreras, C. Martín-Esparza, M.E., Chiralt, A., Martínez-Navarrete, N. (2008). Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. Journal of Food Engineering. New York, United States.

Crank, J. (1975). The mathematics of diffusion. Oxford University Press. London, UK.

Defensa Civil (2008). Políticas y planes: compendios 2008. Instituto Nacional de Defensa Civil. Lima, Perú.

F. A. O. (1987). Especies forestales productoras de frutas y otros alimentos. Ejemplos de América Latina. Roma: F. A. O.

Fahloul, D., Lahbari, M., Benmoussa, H., Mezdour, S. (2009). Effect of osmotic dehydration on the freeze drying kinetics of apricots. Journal of Food Agriculture and Environment. London, United Kingdom.

Fennema, O. (1990). Química de los Alimentos. (2da Ed.) Nueva York: Revisado y expandido Por Marcel Dekker.

García, J., Paredes, E. (1995). "Estudio técnico de la extracción liofilizada de la pulpa refinada del fruto de camu camu (*Myrciaria dubia*) contenido ácido ascórbico (vitamina C)", Tesis para optar al título de Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos, Perú.

Geankoplis, C. (1982). Operaciones Unitarias. México: Editorial Continental.

Geankoplis, C. (1998). Procesos de Transporte y Transferencia de Materia. (3ª. Ed.). México: Compañía editorial continental.

Giraldo, G., Talens, P., Fito, P., Chiralt, A. (2003). Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. Journal of Food Engineering. New York, United States.

Gonzáles, A., Torres, G. (2010) Manual: Cultivo de Aguaje. Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana. Iquitos: IIAP.

Gonzáles, R. (1977). Estudio sobre la densidad de poblaciones de aguajes en Tingo María. Lima: Revista Forestal del Peru.

Guzmán, R. (2004). Especies Frutales Nativas de la Selva del Perú. Estudio botánico y de propagación por semillas. Lima: U. N. A. La Molina.

Harper, A. (2002). Bioquímica Ilustrada. (16ª ed.). Bogotá: Editorial El Manual Moderno.

Heldman, D., Singh, P. (1981). Food Process Engineering (2nd Ed.) Rutgers University, New Brunswick. New Jersey, U.S.A.

Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - IIAP (2006). Frutales nativos amazónicos: Patrimonio alimenticio de la humanidad. Iquitos: IIAP.

Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - IIAP (2010). Manual del cultivo de Aguaje (*Mauritia flexuosa L. f.*). Iquitos: IIAP.

Jacobs, B. (1958). Chemical Analysis of food. (3ra. Edic.). New York, United States.

Kirk, R. S., Sawyer, R., Egan, H. (1996). Composición y Análisis de alimentos de Pearson (2ª Ed.). México.

Labuza, T., Kaanane, A., Chen, J. (1985). Effect of temperature on the moisture sorption isotherm and water activity shift of two dehydrated food. New York: Journal Food Science.

Lao, R. (1973). Dendrología. Lima: Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Luján, N. (2010). Evaluación de la estabilidad de la pro vitamina A en la pulpa liofilizada de tres morfotipos de aguaje (*Mauritia flexuosa* L. f.). Tesis para optar al título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos.

Malleux, O. (1975). Mapa forestal del Perú. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.

Marques, L.G., Prado, M.M., Freire, J.T. (2009). Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. Food Science and Technology. New York, United States.

Márquez-Aquino, D. (2009). "Desarrollo de productos de maíz (botanas) por medio de liofilización". Tesis de licenciatura en Ingeniería de Alimentos, Universidad de las Américas. Puebla, México.

Martiarena, C., Quispe D. (2008). Plan de negocio para la exportación de aguaje liofilizado. Tesis Para Optar Al Grado De Magister En Administración Estratégica De Empresas. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Maskan, M., Gögus, F. (1998). Sorption Isotherms and Drying Characteristics of Mulberry (*Torus alba*). Journal of Food Engineering. New York, United States.

Mejia, K., Luna, S. (1993). Cosecha y manejo del aguaje. Iquitos: Folleto IIAP.

Melo, M. (2005). Cultivo y Deshidratación de un Probiótico para Medicina Preventiva. Informe para optar al Título de Ingeniero Químico. Universidad de Concepción, España.

Monteagudo, G., Benlloch, M., Camacho, M., Moraga, G. (2013). Aplicación de métodos combinados para la obtención de kiwi en polvo de alta calidad. Instituto de Ingeniería

de Alimentos para el Desarrollo, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.

Moreno, S. (1991). Obtención y caracterización del aceite de aguaje (*Maurítia flexuosa L. f*) y ungurahui (*Jessenia bataua*). Tesis para optar al título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María.

Navarro, E. (2001). Estudio de factibilidad técnico-económico para la producción de pulpa estabilizada de aguaje *(Maurítia flexuosa L. f)* parcialmente desgrasada. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias Agropecuarias con Mención en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad de Chile, Santiago.

Pascual, A., Camps, I. Ganong, W. (2002). Chromatic appreciation: methods for determining and appreciating of color. 2th edition. McGraw-Hill: San Francisco.

Prabhanjan, D., Ramaswamy, H., Raghavan, G. (1995). Microwave-assisted Convective Air Drying of Thin Layer Carrots. Journal of Food Engineering. New York, United States.

Pronaturaleza (2005). Plan de Manejo Forestal de *Mauritia Flexuosa* Aguaje, Reserva Nacional Pacaya Samiria. Iquitos: Pronaturaleza.

Rockland, L., Radke, T. (1981). Legume protein quality. New York: *Food technol*.

Scheidegger, E. (1974). The physics of Flow through Porous media. (3rd Ed.) University of Toronto press. Toronto, Canada.

Sotero, V.E. (2006). Liofilización De La Pulpa De Aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*) Informe técnico. Pucallpa: IIAP.

Sotero, V., Luján, M., Freitas, L., Merino, C., Dávila, E. (2008). Estabilidad y actividad antioxidante de la pulpa liofilizada de tres morfotipos de aguaje (*Maurítia flexuosa L. f.)*. IIAP. Iquitos, Perú.

Talens, P. (2002). Tratamientos osmóticos en la crioprotección de fresa y kiwi. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.

Tratado de Cooperación Amazónica. (1997). Cultivo de frutas nativas amazónicas. Lima: Editorial Mirigraf S. R. L.

UNICEF (2008). Lineamientos Estratégicos para la Erradicación de la Desnutrición Crónica Infantil en América Latina y el Caribe. Panamá: UNICEF TACRO.

Vásquez, M. (2000). El camu camu; cultivo, manejo e investigaciones. Iquitos: Editora gráfica e Imprenta Universal SRL.

Vásquez, O. (2008). Caracterización de ácidos graso Beta-caroteno, alfa-tocoferol y estabilidad oxidativa de los aceites de tres morfotipos de *Mauritia flexuosa* L. f.

mediante cromatografía de gases, HPLC y rancimat. Tesis para optar al título de Químico Farmacéutico. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos, Perú.

Villachica, H. (1996). Frutales y hortalizas promisorios de la Amazonía. Cooperación Amazónica. Lima, Perú.

Yuyama, L. et al. (1998). Biodisponibilidade dos carotenóides do buriti (*Mauritia flexuosa L.*) em ratos. Manaus, Brasil.

ANEXOS

ANEXO A

Tablas

Anexo A1: Pérdida de peso de la pulpa de aguaje a 0.101 mbar.

HORA/TIEMPO		MORFOTIPO		
		Amarillo	Color	Shambo
1	08:30 a.m.	149.30	149.70	149.20
2	09:30 a.m.	135.55	136.85	135.95
3	10:30 a.m.	123.80	124.90	123.10
4	11:30 a.m.	112.05	113.95	111.20
5	12:30 p.m.	101.30	104.00	100.10
6	01:30 p.m.	91.55	95.50	89.20
7	02:30 p.m.	81.80	87.75	79.00
8	03:30 p.m.	74.05	81.60	69.20
9	04:30 p.m.	66.30	74.05	60.40
10	05:30 p.m.	60.55	68.90	52.60
11	06:30 p.m.	56.40	64.10	46.10
12	07:30 p.m.	53.25	61.20	43.25
13	08:30 p.m.	49.70	58.90	42.15
14	09:30 p.m.	49.70	57.80	42.15
15	10:30 p.m.	49.70	57.84	42.15

Anexo A2: Pérdida de peso de la pulpa de aguaje a 0.501 mbar.

HORA/TIEMPO		MORFOTIPO		
		Amarillo	Color	Shambo
1	08:00 a.m.	161.00	161.60	161.20
2	09:00 a.m.	149.80	150.90	149.30
3	10:00 a.m.	139.20	141.10	138.00
4	11:00 a.m.	129.30	132.00	127.30
5	12:00 p.m.	120.00	123.30	117.00
6	01:00 p.m.	111.30	115.40	107.40
7	02:00 p.m.	103.10	108.60	98.30
8	03:00 p.m.	95.60	102.85	90.10
9	04:00 p.m.	88.70	97.75	83.30
10	05:00 p.m.	82.90	93.05	77.60
11	06:00 p.m.	77.70	88.65	72.80
12	07:00 p.m.	73.00	84.65	68.70
13	08:00 p.m.	69.00	80.95	64.80
14	09:00 p.m.	65.40	77.45	61.20
15	10:00 p.m.	62.60	74.25	58.10
16	11:00 p.m.	60.40	71.35	55.30
17	12:00 a.m.	58.50	68.85	52.90
18	01:00 a.m.	57.00	66.75	50.80
19	02:00 a.m.	55.90	65.05	49.20
20	03:00 a.m.	55.10	63.85	47.90
21	04:00 a.m.	54.55	63.15	47.00

Anexo A3: Pérdida de peso de la pulpa de aguaje a 1.03 mbar.

HORA/TIEMPO		MORFOTIPO		
		Amarillo	Color	Shambo
1	07:30 a.m.	161.12	161.30	160.78
2	08:30 a.m.	153.82	155.00	151.38
3	09:30 a.m.	146.92	148.90	142.58
4	10:30 a.m.	140.22	143.05	134.28
5	11:30 a.m.	133.82	137.40	126.48
6	12:30 p.m.	127.67	132.00	119.58
7	01:30 p.m.	121.77	126.80	113.18
8	02:30 p.m.	116.07	121.75	107.28
9	03:30 p.m.	110.67	116.90	101.68
10	04:30 p.m.	105.57	112.25	96.58
11	05:30 p.m.	100.67	107.80	91.68
12	06:30 p.m.	95.97	103.55	86.98
13	07:30 p.m.	91.62	99.55	82.63
14	08:30 p.m.	87.47	95.65	78.48
15	09:30 p.m.	83.52	91.95	74.53
16	10:30 p.m.	79.82	88.50	70.83
17	11:30 p.m.	76.37	85.30	67.38
18	12:30 a.m.	73.22	82.30	64.23
19	01:30 a.m.	70.32	79.50	61.33
20	02:30 a.m.	67.62	76.90	58.63
21	03:30 a.m.	65.22	74.50	56.23
22	04:30 a.m.	63.12	72.30	54.13
23	05:30 a.m.	61.22	70.40	52.23
24	06:30 a.m.	59.52	68.70	50.53
25	07:30 a.m.	58.07	67.30	49.08
26	08:30 a.m.	56.97	66.20	47.98
27	09:30 a.m.	56.07	65.30	47.08
28	10:30 a.m.	55.37	64.70	46.38
29	11:30 a.m.	54.97	64.40	45.98
30	12:30 p.m.	54.77	63.90	45.78

Anexo A4: Datos para la determinación de los parámetros de secado por liofilización del aguaje del morfotipo "Amarillo".

Área	0.00265 m^2
%H(bh)	66.77%
%Materia seca	33.23%
Materia seca	49.615 g.

Anexo A5: Datos para la determinación de los parámetros de secado por liofilización del aguaje del morfotipo "Color".

Área	0.00265 m^2
%H(bh)	61.37%
%Materia seca	38.63%
Materia seca	57.825 g.

Anexo A6: Datos para la determinación de los parámetros de secado por liofilización del aguaje del morfotipo "Shambo".

Área	0.00265 m^2
%H(bh)	73.07%
%Materia seca	26.93%
Materia seca	40.186 g.

Anexo A7: Cinética de secado de la pulpa de aguaje del morfotipo “Amarillo” a 0.101 mbar.

Tiempo	Peso total	X(bs)	Xmedio(bs)	R	X (bh)	%
0.0	149.30 g.	2.0091	1.868563276	5.2691	0.6677	66.77
1.0	135.35 g.	1.7280	1.597982127	4.8725	0.6334	63.34
2.0	122.45 g.	1.4680	1.349067625	4.4570	0.5948	59.48
3.0	110.65 g.	1.2302	1.120308144	4.1171	0.5516	55.16
4.0	99.75 g.	1.0105	0.911199808	3.7205	0.5026	50.26
5.0	89.90 g.	0.8119	0.721742616	3.3805	0.4481	44.81
6.0	80.95 g.	0.6315	0.550424943	3.0406	0.3871	38.71
7.0	72.90 g.	0.4693	0.396239037	2.7384	0.3194	31.94
8.0	65.65 g.	0.3232	0.266239155	2.1341	0.2442	24.42
9.0	60.00 g.	0.2093	0.163448551	1.7186	0.1731	17.31
10.0	55.45 g.	0.1176	0.085851723	1.1898	0.1052	10.52
11.0	52.30 g.	0.0541	0.035464172	0.6988	0.0513	5.13
12.0	50.45 g.	0.0168	0.009262646	0.2833	0.0165	1.65
13.0	49.70 g.	0.0017	0.000852256	0.0025	0.0017	0.17

Anexo A8: Cinética de secado de la pulpa de aguaje del morfotipo "Color" a 0.101 mbar.

Tiempo	Peso total	X(bs)	Xmedio(bs)	R	X (bh)	%
0.0	149.70 g.	1.5888	1.477725333	4.8536	0.6137	61.37
1.0	136.85 g.	1.3666	1.265015358	4.4381	0.5775	57.75
2.0	125.10 g.	1.1634	1.071760564	4.0038	0.5378	53.78
3.0	114.50 g.	0.9801	0.897528614	3.6072	0.4950	49.50
4.0	104.95 g.	0.8150	0.737996133	3.3617	0.4490	44.90
5.0	96.05 g.	0.6610	0.591433772	3.0406	0.3980	39.80
6.0	88.00 g.	0.5218	0.460003219	2.7007	0.3429	34.29
7.0	80.85 g.	0.3982	0.344569148	2.3418	0.2848	28.48
8.0	74.65 g.	0.2910	0.24642857	1.9452	0.2254	22.54
9.0	69.50 g.	0.2019	0.163852137	1.6619	0.1680	16.80
10.0	65.10 g.	0.1258	0.09813686	1.2087	0.1117	11.17
11.0	61.90 g.	0.0705	0.050579752	0.8687	0.0658	6.58
12.0	59.60 g.	0.0307	0.016857439	0.6043	0.0298	2.98
13.0	58.00 g.	0.0030	0.001639164	0.0604	0.0030	0.30
14.0	57.84 g.	0.0003	0.000127842	0.0004	0.0003	0.03

Anexo A9: Cinética de secado de la pulpa de aguaje del morfotipo "Shambo" a 0.101 mbar.

Tiempo	Peso total	X(bs)	Xmedio(bs)	R	X (bh)	%
0.0	149.20 g.	2.7128	2.526751037	5.6468	0.7307	73.07
1.0	134.25 g.	2.3407	2.16965894	5.1936	0.7007	70.07
2.0	120.50 g.	1.9986	1.839317645	4.8347	0.6665	66.65
3.0	107.70 g.	1.6801	1.534482929	4.4193	0.6269	62.69
4.0	96.00 g.	1.3889	1.253288456	4.1171	0.5814	58.14
5.0	85.10 g.	1.1177	0.995112114	3.7205	0.5278	52.78
6.0	75.25 g.	0.8726	0.763686574	3.3050	0.4660	46.60
7.0	66.50 g.	0.6548	0.565232953	2.7195	0.3957	39.57
8.0	59.30 g.	0.4756	0.400995473	2.2663	0.3223	32.23
9.0	53.30 g.	0.3263	0.264753018	1.8697	0.2460	24.60
10.0	48.35 g.	0.2032	0.159616146	1.3220	0.1689	16.89
11.0	44.85 g.	0.1161	0.091805974	0.7365	0.1040	10.40
12.0	42.90 g.	0.0675	0.058211944	0.2833	0.0633	6.33
13.0	42.15 g.	0.0489	0.024440135	0.0571	0.0466	4.66

Anexo A10: Cinética de secado de la pulpa de aguaje del morfotipo "Amarillo" a 0.501 mbar.

Tiempo	Peso total	X(bs)	Xmedio(bs)	R	X (bh)	%
0.0	161.00 g.	2.0075	1.902886909	4.2304	0.6675	66.75
1.0	149.80 g.	1.7983	1.699273863	4.0038	0.6426	64.26
2.0	139.20 g.	1.6003	1.50780288	3.7394	0.6154	61.54
3.0	129.30 g.	1.4153	1.328473959	3.5127	0.5860	58.60
4.0	120.00 g.	1.2416	1.160353095	3.2861	0.5539	55.39
5.0	111.30 g.	1.0791	1.002506285	3.0973	0.5190	51.90
6.0	103.10 g.	0.9259	0.855867531	2.8329	0.4808	48.08
7.0	95.60 g.	0.7858	0.721370841	2.6062	0.4400	44.00
8.0	88.70 g.	0.6569	0.602752231	2.1907	0.3965	39.65
9.0	82.90 g.	0.5486	0.500011704	1.9641	0.3542	35.42
10.0	77.70 g.	0.4514	0.407545229	1.7753	0.3110	31.10
11.0	73.00 g.	0.3636	0.326286812	1.5109	0.2667	26.67
12.0	69.00 g.	0.2889	0.255302447	1.3598	0.2242	22.42
13.0	65.40 g.	0.2217	0.19552614	1.0576	0.1815	18.15
14.0	62.60 g.	0.1694	0.1488259	0.8310	0.1448	14.48
15.0	60.40 g.	0.1283	0.110531704	0.7177	0.1137	11.37
16.0	58.50 g.	0.0928	0.07877554	0.5666	0.0849	8.49
17.0	57.00 g.	0.0648	0.054491416	0.4155	0.0608	6.08
18.0	55.90 g.	0.0442	0.036745325	0.3022	0.0423	4.23
19.0	55.10 g.	0.0293	0.02413626	0.2077	0.0284	2.84
20.0	54.55 g.	0.0190	0.016197219	0.1133	0.0186	1.86
21.0	54.25 g.	0.0134	0.006697602	0.0129	0.0132	1.32

Anexo A11: Cinética de secado de la pulpa de aguaje del morfotipo "Color" a 0.501 mbar.

Tiempo	Peso total	X(bs)	Xmedio(bs)	R	X (bh)	%
0.0	161.60 g.	1.5888	1.503128897	4.0415	0.6137	61.37
1.0	150.90 g.	1.4174	1.338923642	3.7016	0.5863	58.63
2.0	141.10 g.	1.2604	1.187534406	3.4372	0.5576	55.76
3.0	132.00 g.	1.1146	1.044956184	3.2861	0.5271	52.71
4.0	123.30 g.	0.9753	0.911989977	2.9839	0.4937	49.37
5.0	115.40 g.	0.8487	0.794242794	2.5685	0.4591	45.91
6.0	108.60 g.	0.7398	0.693717137	2.1719	0.4252	42.52
7.0	102.85 g.	0.6477	0.606808502	1.9263	0.3931	39.31
8.0	97.75 g.	0.5660	0.52831038	1.7753	0.3614	36.14
9.0	93.05 g.	0.4907	0.455419266	1.6619	0.3292	32.92
10.0	88.65 g.	0.4202	0.388135161	1.5109	0.2959	29.59
11.0	84.65 g.	0.3561	0.326458065	1.3975	0.2626	26.26
12.0	80.95 g.	0.2968	0.268785976	1.3220	0.2289	22.89
13.0	77.45 g.	0.2408	0.215118892	1.2087	0.1940	19.40
14.0	74.25 g.	0.1895	0.166257816	1.0954	0.1593	15.93
15.0	71.35 g.	0.1430	0.123003749	0.9443	0.1251	12.51
16.0	68.85 g.	0.1030	0.086157691	0.7932	0.0934	9.34
17.0	66.75 g.	0.0693	0.055719644	0.6421	0.0648	6.48
18.0	65.05 g.	0.0421	0.032490608	0.4533	0.0404	4.04
19.0	63.85 g.	0.0229	0.011439296	0.0284	0.0224	2.24

Anexo A12: Cinética de secado de la pulpa de aguaje del morfotipo "Shambo" a 0.501 mbar.

Tiempo	Peso total	X(bs)	Xmedio(bs)	R	X (bh)	%
0.0	161.20 g.	2.7128	2.575721876	4.4948	0.7307	73.07
1.0	149.30 g.	2.4387	2.308550387	4.2682	0.7092	70.92
2.0	138.00 g.	2.1784	2.055198112	4.0415	0.6854	68.54
3.0	127.30 g.	1.9320	1.81336185	3.8905	0.6589	65.89
4.0	117.00 g.	1.6947	1.584193201	3.6261	0.6289	62.89
5.0	107.40 g.	1.4736	1.368843768	3.4372	0.5957	59.57
6.0	98.30 g.	1.2640	1.169616752	3.0973	0.5583	55.83
7.0	90.10 g.	1.0752	0.996876565	2.5685	0.5181	51.81
8.0	83.30 g.	0.9186	0.852926409	2.1530	0.4788	47.88
9.0	77.60 g.	0.7873	0.732008278	1.8130	0.4405	44.05
10.0	72.80 g.	0.6767	0.629515766	1.5486	0.4036	40.36
11.0	68.70 g.	0.5823	0.537387667	1.4731	0.3680	36.80
12.0	64.80 g.	0.4925	0.451017573	1.3598	0.3300	33.00
13.0	61.20 g.	0.4096	0.373860289	1.1709	0.2906	29.06
14.0	58.10 g.	0.3382	0.305915816	1.0576	0.2527	25.27
15.0	55.30 g.	0.2737	0.246032551	0.9065	0.2149	21.49
16.0	52.90 g.	0.2184	0.194210495	0.7932	0.1792	17.92
17.0	50.80 g.	0.1700	0.151601248	0.6043	0.1453	14.53
18.0	49.20 g.	0.1332	0.118204812	0.4910	0.1175	11.75
19.0	47.90 g.	0.1032	0.099203392	0.1322	0.0936	9.36
20.0	47.55 g.	0.0952	0.047586394	0.0780	0.0869	8.69

Anexo A13: Cinética de secado de la pulpa de aguaje del morfotipo "Amarillo" a 1.03 mbar.

Tiempo	Peso total	X(bs)	Xmedio(bs)	R	X (bh)	%
0.0	161.12 g.	2.0075	1.939363877	2.7573	0.6675	66.75
1.0	153.82 g.	1.8712	1.806833976	2.6062	0.6517	65.17
2.0	146.92 g.	1.7424	1.67990393	2.5307	0.6354	63.54
3.0	140.22 g.	1.6174	1.55764043	2.4174	0.6179	61.79
4.0	133.82 g.	1.4979	1.44051013	2.3229	0.5997	59.97
5.0	127.67 g.	1.3831	1.328046376	2.2285	0.5804	58.04
6.0	121.77 g.	1.2730	1.219782513	2.1530	0.5600	56.00
7.0	116.07 g.	1.1666	1.116185196	2.0397	0.5384	53.84
8.0	110.67 g.	1.0658	1.018187733	1.9263	0.5159	51.59
9.0	105.57 g.	0.9706	0.924856817	1.8508	0.4925	49.25
10.0	100.67 g.	0.8791	0.835259138	1.7753	0.4678	46.78
11.0	95.97 g.	0.7914	0.750794658	1.6431	0.4418	44.18
12.0	91.62 g.	0.7102	0.67146338	1.5675	0.4153	41.53
13.0	87.47 g.	0.6327	0.595865337	1.4920	0.3875	38.75
14.0	83.52 g.	0.5590	0.524467186	1.3975	0.3586	35.86
15.0	79.82 g.	0.4899	0.457735581	1.3031	0.3288	32.88
16.0	76.37 g.	0.4255	0.396137177	1.1898	0.2985	29.85
17.0	73.22 g.	0.3667	0.339671972	1.0954	0.2683	26.83
18.0	70.32 g.	0.3126	0.287406659	1.0198	0.2382	23.82
19.0	67.62 g.	0.2622	0.239807892	0.9065	0.2077	20.77
20.0	65.22 g.	0.2174	0.197808979	0.7932	0.1786	17.86
21.0	63.12 g.	0.1782	0.160476613	0.7177	0.1513	15.13
22.0	61.22 g.	0.1427	0.071371869	0.6421	0.1249	12.49
23.0	59.52 g.	0.1110	0.055505614	0.5477	0.0999	9.99
24.0	58.07 g.	0.0839	0.041972631	0.4155	0.0774	7.74
25.0	56.97 g.	0.0634	0.03170623	0.3399	0.0596	5.96
26.0	56.07 g.	0.0466	0.023306448	0.2644	0.0445	4.45
27.0	55.37 g.	0.0335	0.016773283	0.1511	0.0325	3.25
28.0	54.97 g.	0.0261	0.013040047	0.0755	0.0254	2.54
29.0	54.77 g.	0.0223	0.011173428	0.0156	0.0219	2.19

Anexo A14: Cinética de secado de la pulpa de aguaje del morfotipo "Color" a 1.03 mbar.

Tiempo	Peso total	X(bs)	Xmedio(bs)	R	X (bh)	%
0.0	161.30 g.	1.5888	1.538279097	2.3796	0.6137	61.37
1.0	155.00 g.	1.4877	1.43877021	2.3041	0.5980	59.80
2.0	148.90 g.	1.3898	1.342872533	2.2096	0.5816	58.16
3.0	143.05 g.	1.2959	1.250586066	2.1341	0.5644	56.44
4.0	137.40 g.	1.2052	1.161910808	2.0397	0.5465	54.65
5.0	132.00 g.	1.1186	1.07684676	1.9641	0.5280	52.80
6.0	126.80 g.	1.0351	0.99459143	1.9075	0.5086	50.86
7.0	121.75 g.	0.9541	0.915144819	1.8319	0.4882	48.82
8.0	116.90 g.	0.8762	0.838908173	1.7564	0.4670	46.70
9.0	112.25 g.	0.8016	0.76588149	1.6808	0.4449	44.49
10.0	107.80 g.	0.7302	0.696064771	1.6053	0.4220	42.20
11.0	103.55 g.	0.6620	0.629859262	1.5109	0.3983	39.83
12.0	99.55 g.	0.5978	0.566462471	1.4731	0.3741	37.41
13.0	95.65 g.	0.5352	0.505473154	1.3975	0.3486	34.86
14.0	91.95 g.	0.4758	0.448095046	1.3031	0.3224	32.24
15.0	88.50 g.	0.4204	0.394729393	1.2087	0.2960	29.60
16.0	85.30 g.	0.3690	0.34497495	1.1331	0.2696	26.96
17.0	82.30 g.	0.3209	0.298430471	1.0576	0.2429	24.29
18.0	79.50 g.	0.2760	0.255095955	0.9821	0.2163	21.63
19.0	76.90 g.	0.2342	0.117115594	0.9065	0.1898	18.98
20.0	74.50 g.	0.1957	0.09785581	0.8310	0.1637	16.37
21.0	72.30 g.	0.1604	0.080201008	0.7177	0.1382	13.82
22.0	70.40 g.	0.1299	0.064953678	0.6421	0.1150	11.50
23.0	68.70 g.	0.1026	0.051311331	0.5288	0.0931	9.31
24.0	67.30 g.	0.0802	0.040076457	0.4155	0.0742	7.42
25.0	66.20 g.	0.0625	0.031249055	0.3399	0.0588	5.88
26.0	65.30 g.	0.0481	0.024026636	0.2266	0.0459	4.59
27.0	64.70 g.	0.0384	0.01921169	0.1133	0.0370	3.70
28.0	64.40 g.	0.0336	0.016804217	0.0282	0.0325	3.25

Anexo A15: Cinética de secado de la pulpa de aguaje del morfotipo "Shambo" a 1.03 mbar.

Tiempo	Peso total	X(bs)	Xmedio(bs)	R	X (bh)	%
0.0	160.78 g.	2.7128	2.604229128	3.5505	0.7307	73.07
1.0	151.38 g.	2.4957	2.394090193	3.3239	0.7139	71.39
2.0	142.58 g.	2.2925	2.196651962	3.1350	0.6963	69.63
3.0	134.28 g.	2.1008	2.010759827	2.9462	0.6775	67.75
4.0	126.48 g.	1.9207	1.841032225	2.6062	0.6576	65.76
5.0	119.58 g.	1.7614	1.687469157	2.4174	0.6379	63.79
6.0	113.18 g.	1.6136	1.545452184	2.2285	0.6174	61.74
7.0	107.28 g.	1.4773	1.412672087	2.1152	0.5963	59.63
8.0	101.68 g.	1.3480	1.289128867	1.9263	0.5741	57.41
9.0	96.58 g.	1.2302	1.173667913	1.8508	0.5516	55.16
10.0	91.68 g.	1.1171	1.062825397	1.7753	0.5277	52.77
11.0	86.98 g.	1.0086	0.958333234	1.6431	0.5021	50.21
12.0	82.63 g.	0.9081	0.860191424	1.5675	0.4759	47.59
13.0	78.48 g.	0.8123	0.766668051	1.4920	0.4482	44.82
14.0	74.53 g.	0.7211	0.678340422	1.3975	0.4190	41.90
15.0	70.83 g.	0.6356	0.59578584	1.3031	0.3886	38.86
16.0	67.38 g.	0.5560	0.519581611	1.1898	0.3573	35.73
17.0	64.23 g.	0.4832	0.449727734	1.0954	0.3258	32.58
18.0	61.33 g.	0.4162	0.3850696	1.0198	0.2939	29.39
19.0	58.63 g.	0.3539	0.326184513	0.9065	0.2614	26.14
20.0	56.23 g.	0.2985	0.274227084	0.7932	0.2299	22.99
21.0	54.13 g.	0.2500	0.228042703	0.7177	0.2000	20.00
22.0	52.23 g.	0.2061	0.186476759	0.6421	0.1709	17.09
23.0	50.53 g.	0.1668	0.150106559	0.5477	0.1430	14.30
24.0	49.08 g.	0.1334	0.120664016	0.4155	0.1177	11.77
25.0	47.98 g.	0.1080	0.097571825	0.3399	0.0974	9.74
26.0	47.08 g.	0.0872	0.079098073	0.2644	0.0802	8.02
27.0	46.38 g.	0.0710	0.066397368	0.1511	0.0663	6.63
28.0	45.98 g.	0.0618	0.05946971	0.0755	0.0582	5.82
29.0	45.78 g.	0.0572	0.028580246	0.0322	0.0541	5.41

Anexo A16: Anova de la densidad de la pulpa liofilizada para tres morfotipos.

EXPERIM. DESIGN	2 factors, 1 Blocks, 27 Runs; MS Residual=.0000969 DV: DENSIDAD				
Factor	SS	df	MS	F	p
(1)VARIEDAD(L)	.005578	1	.005578	57.59535	.000000
VARIEDAD(Q)	.000859	1	.000859	8.86943	.007171
(2)PRESIÓN (L)	.001906	1	.001906	19.67380	.000229
PRESIÓN (Q)	.000089	1	.000089	.91811	.348875
1L by 2L	.000076	1	.000076	.78868	.384558
Error	.002034	21	.000097		
Total SS	.010568	26			

Anexo A17: Efectos estimados de la densidad de la pulpa liofilizada para tres morfotipos.

EXPERIM. DESIGN	2 factors, 1 Blocks, 27 Runs; MS Residual=.0000969 DV: DENSIDAD									
Factor	Effect	Std.Err.	t(21)	p	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	.432712	.004275	101.2189	.000000	.423822	.441603	.432712	.004275	.423822	.441603
(1)VARIEDAD(L)	-.035245	.004644	-7.5892	.000000	-.044902	-.025587	-.017622	.002322	-.022451	-.012793
VARIEDAD(Q)	.023931	.008036	2.9782	.007171	.007220	.040642	.011966	.004018	.003610	.020321
(2)PRESIÓN (L)	.020578	.004639	4.4355	.000229	.010930	.030226	.010289	.002320	.005465	.015113
PRESIÓN (Q)	-.007812	.008153	-.9582	.348875	-.024766	.009143	-.003906	.004076	-.012383	.004571
1L by 2L	.005036	.005670	.8881	.384558	-.006756	.016828	.002518	.002835	-.003378	.008414

Anexo A18: Anova de la porosidad de la pulpa liofilizada para tres morfotipos.

Factor	SS	df	MS	F	p
(1)VARIEDAD(L)	.001219	1	.001219	35.56973	.000006
VARIEDAD(Q)	.000150	1	.000150	4.37699	.048757
(2)PRESIÓN (L)	.000800	1	.000800	23.34396	.000089
PRESIÓN (Q)	.000003	1	.000003	.09567	.760135
1L by 2L	.000080	1	.000080	2.34396	.140695
Error	.000720	21	.000034		
Total SS	.003000	26			

Anexo A19: Efectos estimados de la porosidad de la pulpa liofilizada para tres morfotipos.

Factor	Effect	Std.Err.	t(21)	p	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	.157417	.002543	61.90363	.000000	.152128	.162705	.157417	.002543	.152128	.162705
(1)VARIEDAD(L)	-.016475	.002762	-5.96404	.000006	-.022220	-.010731	-.008238	.001381	-.011110	-.005365
VARIEDAD(Q)	.010000	.004780	2.09213	.048757	.000060	.019940	.005000	.002390	.000030	.009970
(2)PRESIÓN (L)	.013333	.002760	4.83156	.000089	.007594	.019072	.006667	.001380	.003797	.009536
PRESIÓN (Q)	-.001500	.004850	-.30931	.760135	-.011585	.008585	-.000750	.002425	-.005793	.004293
1L by 2L	.005164	.003373	1.53100	.140695	-.001850	.012178	.002582	.001686	-.000925	.006089

Anexo A20: Anova de la Luminosidad (L) de la pulpa liofilizada para tres morfotipos.

Factor	SS	df	MS	F	p
(1)VARIEDAD(L)	315.2766	1	315.2766	888.5152	.000000
VARIEDAD(Q)	.5878	1	.5878	1.6565	.222351
(2)PRESIÓN (L)	24.8256	1	24.8256	69.9638	.000002
PRESIÓN (Q)	.3990	1	.3990	1.1245	.309836
1L by 2L	.7051	1	.7051	1.9873	.184016
Error	4.2580	12	.3548		
Total SS	345.0476	17			

Anexo A21: Efectos estimados de la Luminosidad (L) de la pulpa liofilizada para tres morfotipos.

Factor	Effect	Std.Err.	t(12)	p	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	40.97988	.316910	129.3108	.000000	40.28939	41.67037	40.97988	.316910	40.28939	41.67037
(1)VARIEDAD(L)	10.26195	.344269	29.8080	.000000	9.51185	11.01204	5.13097	.172134	4.75593	5.50602
VARIEDAD(Q)	.76667	.595681	1.2870	.222351	-.53121	2.06454	.38333	.297840	-.26560	1.03227
(2)PRESIÓN (L)	2.87667	.343916	8.3644	.000002	2.12734	3.62600	1.43833	.171958	1.06367	1.81300
PRESIÓN (Q)	-.64088	.604366	-1.0604	.309836	-1.95768	.67593	-.32044	.302183	-.97884	.33796
1L by 2L	.59256	.420346	1.4097	.184016	-.32329	1.50842	.29628	.210173	-.16165	.75421

Anexo A22: Anova de la tendencia al rojo (a*) de la pulpa liofilizada para tres morfotipos.

Factor	SS	df	MS	F	p
(1)VARIEDAD(L)	20.0933	1	20.0933	345.877	.000000
VARIEDAD(Q)	161.5865	1	161.5865	2781.474	.000000
(2)PRESION (L)	18.1302	1	18.1302	312.085	.000000
PRESION (Q)	.0630	1	.0630	1.084	.318290
1L by 2L	.0468	1	.0468	.806	.386935
Error	.6971	12	.0581		
Total SS	200.5078	17			

Anexo A23: Efectos estimados de la tendencia al rojo (a*) de la pulpa liofilizada para tres morfotipos.

Factor	Effect	Std.Err.	t(12)	p	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	2.55259	.128229	19.9064	.000000	2.27320	2.83198	2.55259	.128229	2.27320	2.83198
(1)VARIEDAD(L)	-2.59066	.139299	-18.5978	.000000	-2.89416	-2.28715	-1.29533	.069650	-1.44708	-1.14357
VARIEDAD(Q)	12.71167	.241027	52.7397	.000000	12.18651	13.23682	6.35583	.120513	6.09326	6.61841
(2)PRESION (L)	2.45833	.139157	17.6659	.000000	2.15514	2.76153	1.22917	.069578	1.07757	1.38076
PRESION (Q)	-.25462	.244541	-1.0412	.318290	-.78743	.27818	-.12731	.122271	-.39372	.13909
1L by 2L	-.15270	.170082	-.8978	.386935	-.52328	.21787	-.07635	.085041	-.26164	.10894

Anexo A24: Anova de la tendencia al verde (b*) de la pulpa liofilizada para tres morfotipos.

Factor	SS	df	MS	F	p
(1)VARIEDAD(L)	45.1761	1	45.17612	113.0335	.000000
VARIEDAD(Q)	3.2761	1	3.27610	8.1970	.014273
(2)PRESION (L)	50.8408	1	50.84083	127.2070	.000000
PRESION (Q)	.3554	1	.35543	.8893	.364262
1L by 2L	1.8420	1	1.84203	4.6089	.052942
Error	4.7960	12	.39967		
Total SS	106.8738	17			

Anexo A25: Efectos estimados de la tendencia al verde (b*) de la pulpa liofilizada para tres morfotipos.

Factor	Effect	Std.Err.	t(12)	p	-95.% Cnf.Lint	+95.% Cnf.Lint	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95.% Cnf.Lint	+95.% Cnf.Lint
Mean/Interc.	13.44910	.336336	39.9871	.000000	12.71629	14.18192	13.44910	.336336	12.71629	14.18192
(1)VARIEDAD(L)	-3.88453	.365372	-10.6317	.000000	-4.68060	-3.08845	-1.94226	.182686	-2.34030	-1.54423
VARIEDAD(Q)	-1.81000	.632195	-2.8630	.014273	-3.18743	-.43257	-.90500	.316097	-1.59372	-.21628
(2)PRESION (L)	4.11667	.364998	11.2786	.000000	3.32140	4.91193	2.05833	.182499	1.66070	2.45596
PRESION (Q)	-.60487	.641413	-.9430	.364262	-2.00239	.79264	-.30244	.320706	-1.00120	.39632
1L by 2L	.95773	.446112	2.1468	.052942	-.01427	1.92972	.47886	.223056	-.00713	.96486

Anexo A26: Anova de la rehidratación a tres temperaturas de la pulpa liofilizada para tres morfotipos.

Factor	SS	df	MS	F	p
(1)VARIEDAD(L)	.046526	1	.046526	476.848	0.000000
VARIEDAD(Q)	.146401	1	.146401	1500.468	0.000000
(2)PRESIÓN (L)	.000046	1	.000046	.474	.493172
PRESIÓN (Q)	.000537	1	.000537	5.504	.021772
(3)TEMP (L)	.176567	1	.176567	1809.649	0.000000
TEMP (Q)	.001141	1	.001141	11.698	.001041
1L by 2L	.000100	1	.000100	1.021	.315783
1L by 3L	.001878	1	.001878	19.245	.000039
2L by 3L	.000009	1	.000009	.090	.765549
Error	.006927	71	.000098		
Total SS	.380654	80			

Anexo A27: Efectos estimados de la rehidratación a tres temperaturas de la pulpa liofilizada para tres morfotipos.

Factor	Effect	Std.Err.	t(71)	p	-95.% Cnf.Lint	+95.% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95.% Cnf.Lint	+95.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	.360665	.002923	123.3735	0.000000	.354836	.366494	.360665	.002923	.354836	.366494
(1)VARIEDAD(L)	.058766	.002691	21.8368	0.000000	.053400	.064132	.029383	.001346	.026700	.032066
VARIEDAD(Q)	.180370	.004656	38.7359	0.000000	.171086	.189655	.090185	.002328	.085543	.094828
(2)PRESIÓN (L)	.001852	.002688	.6888	.493172	-.003509	.007212	.000926	.001344	-.001754	.003606
PRESIÓN (Q)	-.011083	.004724	-2.3460	.021772	-.020503	-.001663	-.005542	.002362	-.010252	-.000832
(3)TEMP (L)	.114481	.002691	42.5400	0.000000	.109115	.119847	.057240	.001346	.054557	.059923
TEMP (Q)	.015926	.004656	3.4202	.001041	.006641	.025211	.007963	.002328	.003321	.012605
1L by 2L	-.003320	.003286	-1.0103	.315783	-.009871	.003232	-.001660	.001643	-.004936	.001616
1L by 3L	.014444	.003293	4.3870	.000039	.007879	.021010	.007222	.001646	.003940	.010505
2L by 3L	.000984	.003286	.2993	.765549	-.005568	.007535	.000492	.001643	-.002784	.003768

ANEXO B

Imágenes

Anexo B1: Fruto de aguaje de morfotipo “amarillo”.

Anexo B2: Fruto de aguaje de morfotipo “color”.

Anexo B3: Fruto de aguaje de morfotipo “shambo”.

Anexo B4: Pulpa de aguaje congelada morfotipo “Amarillo”.

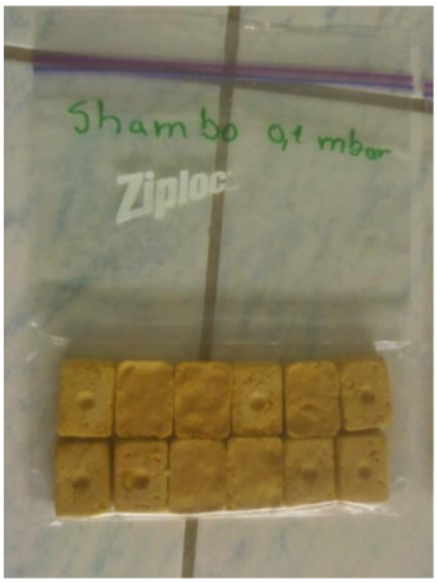
Anexo B5: Pulpa de aguaje congelada morfotipo “Color”.

Anexo B6: Pulpa de aguaje congelada morfotipo “Shambo”.

Anexo B7: Pulpa de aguaje Liofilizada morfotipo “amarillo”.

Anexo B8: Pulpa de aguaje Liofilizada morfotipo “Color”.

Anexo B9: Pulpa de aguaje Liofilizada morfotipo “Shambo”.



Efecto de la liofilización en el secado, características físicas y rehidratación de la pulpa de tres morfotipos de aguaje (Mauritia flexuosa L.f)

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%	18%	2%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.scribd.com Fuente de Internet	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
3	documents.mx Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unapiquitos.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	creativecommons.org Fuente de Internet	<1%
7	qdoc.tips Fuente de Internet	<1%
8	tecnologiadelosplasticos.blogspot.com Fuente de Internet	<1%

9	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.unaj.edu.pe:8080 Fuente de Internet	<1 %
11	www.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
12	www.redalyc.org Fuente de Internet	<1 %
13	livrosdeamor.com.br Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
17	repository.unad.edu.co Fuente de Internet	<1 %
18	www.irta.es Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	andina.pe Fuente de Internet	<1 %

21	Carolina Ivonne Contreras Monzón. "Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas", 'Universitat Politecnica de Valencia', 2015 Fuente de Internet	<1 %
22	xdoc.mx Fuente de Internet	<1 %
23	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
24	rid.unam.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	ainfo.cnptia.embrapa.br Fuente de Internet	<1 %
27	repositorio.unia.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
28	www.indeci.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
29	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
30	doi.org Fuente de Internet	<1 %

31	ingenieriapetroquimicaunefazulia.files.wordpress.com Fuente de Internet	<1 %
32	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
33	nanopdf.com Fuente de Internet	<1 %
34	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
35	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
36	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
37	sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
38	www.selvapati.com Fuente de Internet	<1 %
39	Ayushi Anand, Yvan Gareipy, Vijaya Raghavan. "Fluidized bed and microwave-assisted fluidized bed drying of seed grade soybean", Drying Technology, 2020 Publicación	<1 %
40	biblioteca.uajms.edu.bo Fuente de Internet	<1 %

41	Cristina Barrera Puigdollers. "Estudio de la deshidratación osmótica y del secado por aire caliente como operaciones de estabilización de productos de manzana (var. Granny Smith) enriquecidos en calcio", Universitat Politecnica de Valencia, 2007 Publicación	<1 %
42	www.unas.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
43	iiap.org.pe Fuente de Internet	<1 %
44	dspace.espoch.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
45	lume.ufrgs.br Fuente de Internet	<1 %
46	repositorio.imta.mx Fuente de Internet	<1 %
47	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
48	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
49	go.gale.com Fuente de Internet	<1 %
50	repositorio.ufsc.br Fuente de Internet	<1 %

51	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
52	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	<1 %
53	cybertesis.uach.cl Fuente de Internet	<1 %
54	tesis.ipn.mx Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 10 words
Excluir bibliografía	Activo		