



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN  
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN SEDE BOGOTÁ

# **Efecto de la liofilización sobre propiedades fisicoquímicas y vida útil de cocona (*Solanum sessiliflorum Dunal*) en polvo**

**Diana Patricia Vargas Muñoz**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Administración e Ingeniería  
Escuela de Posgrados  
Palmira, Colombia

2015



# **Efecto de la liofilización sobre propiedades fisicoquímicas y vida útil de cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) en polvo**

**Diana Patricia Vargas Muñoz**

Tesis de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Ingeniería Agroindustrial**

Directora:

Ph.D., Liliana Serna Cock

Línea de Investigación:

Agroindustrialización de productos de origen biológico mediante aplicaciones biotecnológicas y no biotecnológicas

Grupo de Investigación:

Bacterias Acido Lácticas y sus aplicaciones Biotecnológicas – Industriales (GIBALABI)

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Administración e Ingeniería  
Escuela de Posgrados  
Palmira, Colombia

2015



Plasmada una parte pequeña de la biodiversidad de la Amazonía, el hermoso y fantástico departamento del Putumayo me mostró la naturaleza en pleno, la libertad de respirar aire libre y la abundancia de agua en forma de río, pero sobretodo las frutas con sabores exóticos y aromas llamativos, que no los he podido encontrar en otra parte del mundo, de esta forma culminó este trabajo con la conciencia de lo infinito del conocimiento pero segura de que junto a mi compañero de viaje, Rolando Riascos, seguiré buscando razones científicas para valorar lo grande del universo.

Dios, esto es fascinante!



## **Agradecimientos**

A Dios, por darnos la fortaleza y sabiduría para concluir este trabajo.

A mi familia por su incondicional apoyo brindado durante el proceso de lograr mi objetivo.

A Rolando Riascos, mi esposo, por su amor, paciencia y comprensión, porque esta meta no solo es mía, sino de los dos, para nuestro hermoso hogar.

A Mikaela Riascos por estar junto a mí en esas noches eternas de datos y análisis con su ternura y paciencia.

A mi directora Liliana Serna Cock que me enseñó a prender la semilla de la investigación y dar frutos llamados “Obras de arte”.

Al profesor Carlos Julián Giraldo Cuartas por los interesantes aportes en la sección de vida útil.

A los evaluadores, Laura Sofia Torres Valenzuela y Luis Eduardo Ordoñez Santos, por sus importantes aportes al escrito de este trabajo.

Al Grupo de Investigación en Bacterias Acido Lácticas y sus aplicaciones Biotecnológicas – Industriales (GIBALABI) por tener siempre una respuesta científica a mis preguntas.

A los aprendices del SENA Gustavo Adolfo Sepulveda Sepulveda, Victor Manuel Ospina y Claudio Yajaira Cruz Bolaños por trabajar de la mano conmigo y su enorme disponibilidad.

A mi proveedora de fruta, Doña Ángela en Puerto Caicedo, Putumayo, que con su humildad nunca esperó nada a cambio.

Al personal del Laboratorio de Bioconversiones y Laboratorio de Tecnología de Frutas y Hortalizas – Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmita por permitir desarrollar el presente estudio en sus instalaciones.

Al SENA, Regional Valle, Tecnopaque – nodo Cali y Laboratorio de Control de Calidad de Alimentos del Centro Agropecuario de Buga por su apoyo como institución.

Y a todas las personas que de una u otra forma colaboraron para culminar con éxito este trabajo.

## Resumen

Cocona es una fruta de la Amazonía que al ser liofilizada se retiene su valor nutritivo, disminuye costos de almacenamiento y aumenta tiempo de vida útil del producto, lo cual puede garantizar que la cocona en polvo sea un producto de exportación. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del proceso de liofilización sobre propiedades fisicoquímicas y vida útil de cocona (*Solanum sessiliflorum Dunal*) en polvo. La fruta tiene potasio en pulpa (5,35mg/100g de fruta entera) y fibra dietaria (50.15g/100g de epidermis b.s y 68.12g/100g de semilla b.s.). Con la liofilización se obtuvieron polvos con actividad de agua por debajo de 0,2, retención de ácido ascórbico en 87% e incremento de luminosidad. La vida útil de los polvos de cocona fueron de 61 días empacada en BOPP almacenados a 25°C determinados por método integral y fueron limitados por la cinética de actividad de agua que mostró orden de reacción 0 ( $R^2$  cercano a 1 y RMSD mas bajo). Se concluye que cocona en polvo tiene un gran potencial agroindustrial.

**Palabras clave:** liofilización, deshidratación, cocona, polvos, vida útil, polipropileno, semilla.

## Abstract

Cocona is a fruit of the Amazon that to be freeze-drying its nutritional value is retained, reduces storage costs and increases shelf life of the product, which can ensure that the powder cocona is an export product. The aim of this study was to evaluate the effect of freeze-drying process on physicochemical properties and shelf life of cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) powder. The fruit has potassium in pulp (5,35mg / 100g of whole fruit) and dietary fiber (50.15g / 100g bs epidermis and 68.12g / 100g of seed bs). With freeze-drying powders were obtained water activity below 0.2, retention of ascorbic acid in 87% and increased brightness. The shelf life of cocona powders were packed in 61 days stored at 25°C in BOPP determined by integral method and were limited by the water activity kinetics showed reaction order 0 ( $R^2$  near 1 and lowest RMSD). We conclude that cocona powder has a large agroindustrial potential.

**Keywords:** freeze-drying, dehydration, cocona, powder, shelf life, polypropylene, seed.

# Contenido

	<b>Pág.</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XVI</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Justificación</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Hipótesis</b> .....	<b>7</b>
<b>3. Objetivos</b> .....	<b>9</b>
3.1 Objetivo general .....	9
3.2 Objetivos específicos .....	9
<b>4. Marco teórico</b> .....	<b>11</b>
4.1 Cocona: generalidades de la fruta .....	11
4.1.1 Origen .....	11
4.1.2 Características taxonómicas .....	12
4.1.3 Descripción del fruto .....	12
4.1.4 Cultivo .....	14
4.1.5 Maduración e índices de cosecha .....	16
4.1.6 Valor nutritivo .....	18
4.1.7 Agroindustrialización y comercio .....	18
4.2 Liofilización .....	20
4.2.1 Etapas del proceso de liofilización .....	21
4.2.2 Influencia de las condiciones de operación sobre el proceso de liofilización ..	23
4.2.3 Cambios estructurales durante la liofilización .....	25
4.2.4 Otras propiedades importantes de los productos liofilizados .....	30
4.2.5 Ventajas del proceso de liofilización .....	31
4.2.6 Desventajas del proceso de liofilización .....	33
4.3 Cinética de liofilización .....	33
4.4 Frutas en polvo .....	34
4.5 Vida útil .....	35
4.5.1 Modelos para determinar vida útil en alimentos .....	35
<b>5. Estado del arte</b> .....	<b>39</b>
<b>6. Materiales y métodos</b> .....	<b>45</b>
6.1 Acondicionamiento de la fruta .....	45
6.2 Determinación del potencial agroindustrial de pulpa, epidermis y semillas de cocona .....	46
6.3 Evaluación del efecto de la inclusión de semillas y epidermis de cocona, en polvos alimentarios de cocona (obtenidos bajo condiciones estandarizadas de liofilización) sobre propiedades fisicoquímicas como contenido de humedad, actividad	

XII Efecto de la liofilización sobre propiedades fisicoquímicas y vida útil de cocona (Solanum sessiliflorum Dunal) en polvo

---

de agua, contenido de ácido ascórbico, color, solubilidad y rehidratación, actividad de agua, contenido de ácido ascórbico y color .....	48
6.4 Estimación de vida Útil de cocona en polvo en condiciones aceleradas de almacenamiento .....	51
<b>7. Resultados.....</b>	<b>55</b>
7.1 Determinación del potencial agroindustrial de pulpa, epidermis y semillas de cocona.....	55
7.2 Evaluación del efecto de la inclusión de semillas y epidermis de cocona, en polvos alimentarios de cocona (obtenidos bajo condiciones estandarizadas de liofilización) sobre propiedades fisicoquímicas como contenido de humedad, actividad de agua, contenido de ácido ascórbico, color, solubilidad y rehidratación .....	63
7.3 Estimación de vida útil de cocona en polvo en condiciones aceleradas de almacenamiento .....	68
7.3.1 Pulpa de cocona en polvo.....	68
7.3.2 Pulpa+semillas de cocona en polvo.....	78
7.3.3 (Pulpa+semilla+epidermis) de cocona en polvo .....	88
7.4 Producción académica.....	97
<b>8. Conclusiones.....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXO A. Determinación de orden de reacción para pulpa (p) por método integral .....</b>	<b>103</b>
<b>ANEXO B. Determinación de orden de reacción para pulpa+semilla (p+s) por método integral .....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO C. Determinación de orden de reacción para pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) por método integral .....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXO D. Soportes estadísticos .....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXO E. Producción académica .....</b>	<b>145</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>157</b>

## Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Cocona ( <i>Solanum sessiliflorum</i> Dunal) morfotipo II. ....	11
Figura 2. De izquierda a derecha cocona ( <i>Solanum sessiliflorum</i> Dunal) morfotipos I, II y III. ....	13
Figura 3. Índice de madurez de cocona ( <i>Solanum sessiliflorum</i> Dunal) morfotipo II. .	16
Figura 4. Clasificación comercial de las frutas.....	19
Figura 5. Diagrama de fases de agua y sistemas de secado.....	21
Figura 6. Etapas del proceso de liofilización.....	22
Figura 7. Espacio de color CIELAB. ....	29
Figura 8. Localización geográfica del municipio de Puerto Caicedo. ....	45
Figura 9. Cinética de rehidratación de pulpa (p), pulpa+semillas (p+s) y pulpa+semillas+epidermis (p+s+c) de cocona en polvos obtenidos por liofilización. ....	67
Figura 10. Variación del contenido de humedad (CH%) de pulpa (p) en polvo empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C. ....	68
Figura 11. Variación de actividad de agua ( $a_w$ ) de pulpa (p) en polvo empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C. ....	69
Figura 12. Variación de luminosidad ( $L^*$ ) de pulpa (p) en polvo empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C. ....	70
Figura 13. Variación de color $\Delta E$ de pulpa (p) en polvo empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C. .	71
Figura 14. Variación de solubilidad de pulpa (p) en polvo empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C. .	72
Figura 15. Comportamiento de la ecuación de Arrhenius para actividad de agua ( $a_w$ ) de pulpa (p) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente). ....	75

XIV Efecto de la liofilización sobre propiedades fisicoquímicas y vida útil de cocona  
(*Solanum sessiliflorum* Dunal) en polvo

---

Figura 16. Ln de tiempo de vida útil (días) vr temperatura (°C) de pulpa (p) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) limitado por el factor actividad de agua ( $a_w$ ) con orden de reacción 0. ....	77
Figura 17. Variación del contenido de humedad pulpa+semillas (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C. ....	78
Figura 18. Variación de actividad de agua de pulpa+semillas (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C. ....	79
Figura 19. Variación de luminosidad ( $L^*$ ) de pulpa+semillas (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C. ....	80
Figura 20. Variación de color $\Delta E$ de pulpa+semillas (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C... ..	80
Figura 21. Variación de solubilidad de pulpa+semillas (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C. ....	82
Figura 22. Comportamiento de la ecuación de Arrhenius para actividad de agua ( $a_w$ ) de pulpa+semilla (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente).....	84
Figura 23. Posible comportamiento de la ecuación de Arrhenius para actividad de agua ( $a_w$ ) de pulpa+semilla (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente). ....	84
Figura 24. Ln de tiempo de vida útil (días) vr temperatura (°C) de pulpa+semilla (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) limitado por el factor actividad de agua ( $a_w$ ) con orden de reacción 0. ....	86
Figura 25. Variación del contenido de humedad (CH%) de pulpa+semillas+epidermis (p+s+c) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C. ....	88
Figura 26. Variación de actividad de agua ( $a_w$ ) de pulpa+semillas+epidermis (p+s+c) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C.....	89
Figura 27. Variación de luminosidad ( $L^*$ ) de pulpa+semillas+epidermis (p+s+c) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C.....	89
Figura 28. Variación de color $\Delta E$ de pulpa+semillas+epidermis (p+s+c) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C. ....	90
Figura 29. Variación de solubilidad de pulpa+semillas+epidermis (p+s+c) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C.....	91

Figura 30. Comportamiento de la ecuación de Arrhenius para actividad de agua ( $a_w$ ) de pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente)..... 94

Figura 31. Ln de tiempo de vida útil (días) vs temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) de pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) limitado por el factor actividad de agua ( $a_w$ ) con orden de reacción 0..... 95

## Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Características taxonómicas de cocona ( <i>Solanum sessiliflorum Dunal</i> ) .....	12
Tabla 2. Características físico-químicas de los frutos de cocona ( <i>Solanum sessiliflorum Dunal</i> ).....	15
Tabla 3. Composición nutricional de frutos de cocona .....	17
Tabla 4. Parámetros de color .....	28
Tabla 5. Empaques utilizados para contener cocona en polvo y sus propiedades de transmisión de vapor de agua y oxígeno.....	51
Tabla 6. Estimación de vida útil en condiciones aceleradas por método reverso .....	52
Tabla 7. Transformación lineal para la función de una variable.....	52
Tabla 8. Macronutrientes de cocona ( <i>Solanum sessiliflorum Dunal</i> ) .....	57
Tabla 9. Contenido mineral de cocona ( <i>Solanum sessiliflorum Dunal</i> ) .....	58
Tabla 10. Comparación del contenido mineral de pulpa de cocona ( <i>Solanum sessiliflorum Dunal</i> ) con otros frutos amazónicos reportados por diferentes autores. ....	59
Tabla 11. Propiedades físico-químicas de los componentes de cocona ( <i>Solanum sessiliflorum Dunal</i> ).....	60
Tabla 12. Análisis Van Soest y fibra dietaria del fruto de cocona ( <i>Solanum sessiliflorum Dunal</i> ) (base seca) .....	61
Tabla 13. Contenido de fibra dietética total e insoluble de otros frutos. ....	62
Tabla 14. Contenido de humedad de pulpa, pulpa+semillas y (pulpa+semillas+epidermis) de cocona fresca, y de polvos obtenidos por liofilización. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre los valores. ....	63
Tabla 15. Actividad de agua y ácido ascórbico de pulpa, pulpa+semillas y (pulpa+semillas+epidermis) de cocona fresca, y de polvos obtenidos por liofilización. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre los valores de $a_w$ . Letras minúsculas indican diferencias significativas entre los valores de ácido ascórbico. ....	64
Tabla 16. Atributos de color de pulpa, pulpa+semillas y (pulpa+semillas+epidermis) de cocona fresca, y de polvos obtenidos por liofilización.	

Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre los valores de  $L^*$  y  $\Delta E^*$ . Letras minúsculas indican diferencias significativas entre los valores de tono ( $h_{ab}$ ) y croma ( $C^*$ ).65

Tabla 17. Solubilidad de pulpa, pulpa+semillas y (pulpa+semillas+epidermis) de cocona en polvos obtenidos por liofilización. .... 66

Tabla 18. Orden de reacción y constante específica de velocidad (k) para las cinéticas de actividad de agua, contenido de humedad, luminosidad  $L^*$ , cambio de color total y solubilidad de pulpa (p) de cocona en polvo empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C..... 74

Tabla 19. Energía de activación ( $E_a$ ) y factor  $Q_{10}$  de pulpa (p) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) almacenada a 25°, 35°C y 45°C..... 75

Tabla 20. Tiempo de vida útil (días) de pulpa (p) que se empacó en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) limitado por el atributo actividad de agua que tuvo cinética de orden cero. .... 76

Tabla 21. Orden de reacción y constante específica de velocidad (k) para las cinéticas de contenido de humedad, luminosidad  $L^*$ , cambio de color total y solubilidad de pulpa+semilla (p+s) de cocona en polvo empacada en E1( BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente durante el amacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C. .... 82

Tabla 22. Energía de activación ( $E_a$ ) y factor  $Q_{10}$  de pulpa+semilla (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) almacenada a 25°, 35°C y 45°C..... 85

Tabla 23. Factor  $Q_{10}$  de pulpa+semilla (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) almacenada a 25°, 35°C y 45°C. .... 85

Tabla 24. Tiempo de vida útil (días) de pulpa+semilla (p+s) que se empacó en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) limitado por el atributo actividad de agua que tuvo cinética de orden cero..... 86

Tabla 25. Orden de reacción y constantes específica de velocidad (k) para las cinéticas de actividad de agua, contenido de humedad, luminosidad  $L^*$ , cambio de color total y solubilidad de pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) de cocona en polvo empacada en E1( BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente durante el amacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C. .... 92

Tabla 26. Energía de activación ( $E_a$ ) y factor  $Q_{10}$  de pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) almacenada a 25°, 35°C y 45°C. .... 94

Tabla 27. Tiempo de vida útil (días) de pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) que se empacó en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) limitado por el atributo actividad de agua que tuvo cinética de orden cero. .... 95



# Introducción

Como planteamiento del problema se puede describir que en Colombia es un país que cuenta con las mejores perspectivas y oportunidades de crecimiento en el mercado frutícola interno e internacional como EE.UU., la Unión Europea y Japón, ya que es un país que puede producir frutas durante todo el año, desde el nivel del mar hasta 2.800 metros de altitud. Entre la producción frutícola, se encuentran las especies amazónicas, muy promisorias con su calidad organoléptica, pero que necesitan mucha investigación para imponerse en el mercado (Tafur et al., 2006).

El Centro de Excelencia Fitosanitaria del Instituto Colombiano Agropecuario, entidad encargada de desarrollar los Análisis de Riesgos de Plagas (ARP) y programas de mitigación de riesgo fitosanitario en Colombia, realizó una revisión para un grupo de frutas amazónicas exóticas y declaró que las frutas copoazú, camu-camu, arazá, uvilla y cocona son frutas que no tienen potencial de exportación en forma fresca, por lo cual se hace necesario su procesamiento (Proexport Colombia e Instituto Alexander von Humboldt, 2003). La liofilización de cocona podría ser una alternativa de agroindustrialización, la cual permitiría obtener fruta en polvo con características similares a la fruta fresca, con tiempo de vida útil considerable, y de fácil comercialización nacional e internacional.

En Colombia desde los años 90, cocona es una fruta exótica con gran visión agroindustrial, sin embargo, la transformación agroindustrial de cocona se caracteriza por ser un proceso de pequeña escala, poco mecanizado, transformación llevada a cabo en plantas pequeñas o producción artesanal, con un alto componente de mano de obra, debilidad en empaques y etiquetas, sin registro sanitario y sin organización para la comercialización, lo que imposibilita el acceso a nuevos mercados (Arco et al., 2004). Además la baja agroindustrialización está influenciada por las características de cocona, el poco conocimiento de la misma en la región, la mínima relación entre el productor y la agroindustria, y la pobre inversión industrial en la amazonia. (Silva, 1998; Proexport Colombia e Instituto Alexander von Humboldt, 2003).

Siendo cocona una fruta con sabor exótico que la hace prometedora como una materia prima para la industria alimentaria (Quijano & Pino, 2006), se requiere alternativas de agroindustrialización como la producción de un polvo alimentario, que se define como un sistema complejo que tiene una gran dispersión en sus propiedades (Cuq et al., 2011), el cual se puede obtener mediante la tecnología de liofilización. Dicha tecnología permite obtener un producto con baja humedad, baja actividad de agua, y alta rehidratación y además, permite conservar la mayoría de propiedades fisicoquímicas propias de la fruta fresca y facilitar su transporte (Grajales et al., 2005; Jiang et al., 2013). Hasta el momento se desconocen las variables de proceso de liofilización de cocona y los efectos que esta tecnología sobre la calidad fisicoquímica y nutricional de la fruta.

Un polvo alimentario elaborado con cocona, podría tener un buen perfil como producto exportable por su contenido de ácido ascórbico y características organolépticas especiales, y puede ser utilizado en elaboración de bebidas refrescantes con adición de polvos naturales de tipo nutracéutico (Cuq et al., 2011), por lo cual se hace necesario el estudio de variables de proceso de liofilización y la estimación de su vida útil, que permite predecir los cambios fisicoquímicos (color, contenido de ácido ascórbico, contenido de humedad, actividad de agua, solubilidad y rehidratación) que puede sufrir el producto durante el almacenamiento (Grajales et al., 2005).

#### PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN:

¿De acuerdo a su composición nutricional, tendrán la pulpa, la semilla y la epidermis de cocona algún potencial de agroindustrialización?

¿Qué efecto tendrá la incorporación de semillas y de epidermis de cocona, en polvos alimentarios de cocona obtenidos por liofilización sobre la humedad, actividad de agua, ácido ascórbico y color?

¿Cuál será el tiempo de vida útil de cocona en polvo obtenida por liofilización?

# 1. Justificación

Cocona es una fruta amazónica empleada por los indígenas y nuevos habitantes de la región como alimento, medicamento y cosmético, es poco conocida y poco transformada (Quijano & Pino, 2006), presenta sabor distintivo y exótico, lo cual la hace una materia prima prometedora para agroindustrialización (Perez & Soler, 2008).

En la actualidad, los pueblos de la amazonia colombiana adelantan procesos de domesticación de cocona, desde los aspectos agronómicos, de producción y transformación, con lo que se ha disminuido la extracción de la fruta del bosque nativo y se han implementado cultivos tecnificados que hacen parte de arreglos agroforestales. De esta manera, los volúmenes de producción aumentan, convirtiéndose en un alternativa de transformación sostenible y amigable con el ambiente (Hernandez & Barrera, 2004b).

No obstante, para Colombia, la comercialización de la fruta en forma procesada, tiene problemas por solucionar tales como, la accesibilidad a los lugares de cultivo, transporte de fruta durante largo tiempo al mercado, el mal estado de las carreteras, el difícil acceso a los centros de producción, seguridad en el transporte, el elevado precio del flete y el mediano volumen de ventas (Valdivieso, 2000; Arco et al., 2004).

La amazonia colombiana comprende en su gran mayoría a los departamentos de Caquetá, Putumayo, Guaviare, Guainía y Amazonas, es una región que presenta gran biodiversidad, en lo referente a frutales amazónicos tiene producción de frutas como arazá, copoazú, camu-camu y cocona, entre otras, las cuales tienen poca producción y comercialización a nivel nacional (Arco et al., 2004).

Siendo cocona una fruta exótica amazónica de gran interés internacional es razonable buscar un proceso tecnológico para su agroindustrialización (Silva et al., 2005), el cual garantice la calidad de sus características nutritivas y organolépticas (Pardo, 2004). Cocona es una fruta con alto contenido de pectina (Caceres et al., 2012) y con

propiedades nutraceúticas que puede ser útil para la elaboración de diferentes productos que pueden ser comercializados de manera exitosa por la tendencia de los consumidores que prefieren bebidas energéticas por sus altas concentraciones de ingredientes activos (Proexport Colombia e Instituto Alexander von Humboldt, 2003).

La pequeña agroindustria ha considerado almacenar cocona a bajas temperaturas, lo cual suele ser costoso y limita la vida útil del producto al tenerlo congelado permanentemente; otro uso alternativo y viable es la deshidratación de la fruta, seguido por pulverización, lo cual aumenta la vida útil, reduce los costos de almacenamiento (Silva et al., 2010), disminuye los desechos y las pérdidas pos-cosecha, lo que podría permitir su comercialización durante largos períodos de tiempo (Marques et al., 2007).

La deshidratación por convección forzada es la eliminación de agua de los alimentos al punto donde las reacciones contaminadas microbiológicamente se mantienen al mínimo (Krokida et al., 2003), sin embargo es un proceso que no garantiza el contenido nutricional y por esta razón la deshidratación mediante liofilización es el proceso más conveniente.

La liofilización es un proceso que garantiza la calidad en cuanto a forma dimensiones, aspecto, sabor, color, textura y actividad biológica del producto, debido a que la deshidratación se realiza a muy bajas temperaturas y el producto final sufre pequeños daños causados por la degradación térmica y química. (Marques & Freire, 2005), sin embargo el producto, en estado seco, normalmente es altamente poroso, frágil, higroscópico y con buena capacidad de rehidratación (Ceballos et al., 2012), por lo cual puede considerarse la producción de fruta en polvo como una alternativa adecuada para la agroindustrialización de cocona.

Cocona en polvo obtenido por liofilización podría utilizarse en la preparación de bases para refrescos, jugos, néctares, mermeladas, jaleas, dulces, compotas, energizantes, complementos vitamínicos y licores, en algunas regiones de la selva peruana se utilizan para la preparación de ají, ensaladas y complementos de comida típica (Valdivieso, 2000; Proexport Colombia e Instituto Alexander von Humboldt, 2003).

Por lo anterior, se considera pertinente plantear una investigación donde el objetivo es obtener cocona en polvo mediante la tecnología de liofilización, y evaluar su vida útil en diferentes condiciones de almacenamiento.



## 2. Hipótesis

Hi: La pulpa, epidermis y semilla de cocona, tienen potencial agroindustrial, ya que se pueden transformar en polvos alimentarios con propiedades funcionales y por lo tanto pueden utilizarse como suplemento alimentario o como ingrediente alimentario.

Hi: El polvo de cocona obtenido por liofilización conserva propiedades propias de la fruta fresca, como contenido de ácido ascórbico y propiedades de color, y presenta contenidos de humedad y actividad de agua propios de un producto altamente estable.

Hi: El polvo de cocona obtenido por liofilización es soluble en agua y rehidratación es superior al 80%.

Hi: Durante el almacenamiento de 42 días a  $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , con humedad relativa de  $75\% \pm 5\%$ , cocona en polvo empacada en un empaque flexible laminado (nylon adhesivo, polietileno y laminado) calibre 100 micras con zipper, conserva su color, y cambia en menos del 20% su actividad de agua, todo esto comparado con las condiciones iniciales del polvo (tiempo cero).



## **3. Objetivos**

### **3.1 Objetivo general**

Evaluar el efecto del proceso de liofilización sobre propiedades fisicoquímicas y vida útil de cocona (*Solanum sessiliflorum Dunal*) en polvo.

### **3.2 Objetivos específicos**

1. Determinar el potencial agroindustrial de pulpa, epidermis y semilla de cocona, mediante la cuantificación de su contenido de materia seca, celulosa, hemicelulosa, lignina, fibra dietaría, extracto etéreo, proteína, ácido ascórbico y minerales.
2. Evaluar en polvos alimentarios de cocona (obtenidos bajo condiciones estandarizadas de liofilización) el efecto de la inclusión de semillas y epidermis, sobre propiedades fisicoquímicas como contenido de humedad, actividad de agua, contenido de ácido ascórbico, color, solubilidad y rehidratación.
3. Estimar el tiempo de vida útil de cocona en polvo en condiciones aceleradas de almacenamiento, determinando cambios de actividad de agua, color y solubilidad del producto, y utilizando modelos cinéticos de deterioro.



## 4. Marco teórico

### 4.1 Cocona: generalidades de la fruta

Cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) es una fruta conocida en muchas regiones con nombres como cocona (Colombia) (Figura 1), cubiu o tomate de indio (Brasil), tupiro, topiro (Venezuela), Orinoco Apple y peach tomate (Estados Unidos). Es reconocida como una especie endémica cultivada por nativos y colonos en los arreglos agroforestales y chagras en sus sitios de asentamiento, lo cual la constituyó como un alimento tradicional de la zona amazónica (Barrera et al., 2011; Cardona et al., 2011).

Figura 1. Cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) morfotipo II.



Fuente: el autor

#### 4.1.1 Origen

El origen de cocona es en el alto río Orinoco ubicado en el Amazonas Occidental (Venezuela y Colombia), aunque también se encuentra en los Andes del Ecuador y Colombia hasta 1000 msnm, en los valles interandinos en Colombia y en el litoral Pacífico del Ecuador y Colombia (Silva, 1998).

En la actualidad es catalogada por diferentes autores como una especie nativa de la región amazónica brasilera, peruana, ecuatoriana, colombiana y venezolana (Barrera et al., 2011) y generalmente se encuentra en estado salvaje o en cultivo poco tecnificados (Nascimento & Pereira, 2011).

#### 4.1.2 Características taxonómicas

La familia Solanaceae contiene entre 2000 a 3000 especies con formas arbóreas, epifitas, trepadoras y arbustivas como es el caso de cocona. El mayor número de especies la contiene el género *Solanum* (tabla 1), aproximadamente 1400 distribuidas en casi todo el mundo, encontrándose la mayor parte en América Tropical. *S. Sessiliflorum* es un componente de la sección Lasiocarpa, de modo que está filogenéticamente relacionada con la naranjilla o lulo (*Solanum quitoense* Lam.) (Silva, 1998).

Tabla 1. Características taxonómicas de cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal)

<b>REINO</b>	<b>VEGETAL</b>
<b>División</b>	Spermathophytae
<b>Subdivisión</b>	Angiosperma
<b>Clase</b>	Dicotiledónea
<b>Subclase</b>	Simpétala
<b>Orden</b>	Tubiflorales
<b>Familia</b>	Solanaceae
<b>Sección</b>	Lasiocarpa
<b>Subgénero</b>	Leptostemonum
<b>Género</b>	<i>Solanum</i>
<b>Especie</b>	<i>Sessiliflorum</i>

Fuentes: (Silva et al., 1999; Barrera et al., 2011; Muñoz, 2011).

#### 4.1.3 Descripción del fruto

Cocona es una fruta exótica amazónica no climatérica con cinética de crecimiento sigmoidea simple, la duración del ciclo es de 71 días (Hernández et al., 2007).

Se describe a la cocona como una fruta que tiene forma, tamaño y peso variable (Tabla 2), desde esférica hasta ovalada, con diámetro de 3 – 12 cm y peso entre 20 y 450 g, presentando coloraciones amarillas, anaranjadas o rojas en la madurez, los cuales son clasificados en tres morfotipos como se muestra en la figura 2, el morfotipo I es redondo y pequeño, el morfotipo II es ovalada y el morfotipo III es redondo y grande (Silva, 1998; Barrera et al., 2011).

Figura 2. De izquierda a derecha cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) morfotipos I, II y III.



Fuente: (Barrera et al., 2011).

Claramente se puede ver (figura 2) que los morfotipos se diferencian por su tamaño y forma, el morfotipo I es redondo y pequeño con peso aproximado de 91,09 g, el II es alargado y el III es redondo y grande.

Algunos autores consideran separar los tres morfotipos en *S. sessiliflorum*, *S. alabile* y *S. georgicum*, proponiendo las dos últimas, aunque otros autores ponen en tela de juicio este estatus (Silva et al., 1999; Silva et al., 2005; Boufleuher et al., 2008; Barrera et al., 2011).

La cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) está cubierta de pubescencia blancuzca, fina y suelta, que son débiles al tacto, la epidermis es gruesa y dura (18 – 28%) y rodea la pulpa (55 – 60%) que es de grosor variable, carnoso y de color cremoso a amarillos y contiene muchas semillas planas y redondas (20 – 25%), envueltas en un mucílago transparente (tabla 2) (Torres, 2010).

La cocona es una fruta que se caracteriza por ser ácida con un pH entre 3 y 3,5, con contenido de sólidos solubles entre 4,5 a 6 °Brix (Stefanello et al., 2010), tiene fragancia y sabor ligeramente ácido, sin dulce con aroma similar al del tomate de árbol (tabla 2)

(Proexport Colombia e Instituto Alexander von Humboldt, 2003; Hernandez & Barrera, 2004b).

#### **4.1.4 Cultivo**

La cocona es un arbusto herbáceo de 1 a 2 m de altura, erecto, ramificado, que puede vivir hasta tres años en condiciones muy favorables. Las raíces laterales de las plantas pueden extenderse hasta 1,4 m del tronco (Silva, 1998). Las plantas de cocona pueden ser cultivadas a una altura entre los 200 y los 1000 msnm y a una temperatura entre 18 y 30°C, con precipitación pluviométrica de 1500 a 1400 mm/año y con una humedad relativa promedio de 85%, pero que no haya presencia de heladas (Proexport Colombia e Instituto Alexander von Humboldt, 2003; Barrera et al., 2011).

Fácilmente la cocona puede crecer en suelos ácidos de baja fertilidad y suelos neutros y alcalinos con buena fertilidad que tengan textura desde arcillosa hasta arenosa, los cultivos de vega de río tiene mejor rendimiento en la producción de frutos que los cultivos de tierra firme, debido a los altos contenidos de fósforo que se presente en este tipo de suelo (Barrera et al., 2011).

La producción de la planta inicia aproximadamente a los 7 meses después de la siembra y la producción continúa a lo largo de 1 o 2 años más. La vida útil del cultivo es de 3 años y la producción es de 14 kg/año, lo que corresponde cerca de 146 ton/ha. Una de las ventajas comparativas con otro tipo de cultivos, es que la cocona puede desarrollarse en suelos ácidos e infértiles, obteniendo una buena productividad con sola una pequeña cantidad de fertilizantes (Barrera et al., 2011). El fruto puede ser cosechado manualmente, lo cual generalmente se realiza, ya que la pubescencia de los frutos no afecta la piel del cosechador (Proexport Colombia e Instituto Alexander von Humboldt, 2003).

Tabla 2. Características físico-químicas de los frutos de cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal).

Componentes	(Hernandez & Barrera, 2004b).		(Paez et al., 2001)	(Stefanello et al., 2010)	(Torres, 2010)	
	ECOTIPO II FRUTOS	ECOTIPO II PULPA	ECOTIPO II	FRUTA	FRUTA (forma alargada)	FRUTA (forma redonda)
Pulpa	75,72 %	-	-	-	55 – 60%	55 – 60%
Semilla	10,94 %	-	-	-	20 – 25%	20 – 25%
Epidermis	13,34 %	-	-	-	18 – 28%	18 – 28%
Diámetro longitudinal	7,48 cm	-	-	-	4,57 ± 7,67 cm	5,05 ± 1,30 cm
Diámetro transversal	4,55 cm	-	-	-	4,04 ± 0,32	6,12 ± 1,30
Relación largo/diámetro					1,14 ± 0,06	0,85 ± 0,13
Peso fresco total	76,5 g	-	-	-	44,51 ± 7,67 g	91,09 ± 30,65 g
Firmeza	14,3 lb	-	-	-	4,78 ± 1,00	7,68 ± 2,68
Acidez titulable (% Ac. Cítrico)	1,60	1,68	1,61 ± 0,118	-	-	-
pH	3,99	3,39	3,99 ± 0,324	3 – 3,5	-	-
Sólidos solubles (°Brix)	6,5	6,0	6,5	5,4 – 6		
<b>COLOR EXTERNO</b>						
Luminosidad L*	-	-	-	-	55,68 ± 0,35	64,66 ± 0,55
a	-	-	-	-	18,64 ± 0,74	10,92 ± 0,88
b	-	-	-	-	57,22 ± 1,09	68,74 ± 1,74
°h	-	-	-	-	71,78 ± 0,43	80,86 ± 0,86
Cromaticidad	-	-	-	-	60,22 ± 1,24	69,63 ± 1,72
Índice oscurecimiento	-	-	-	-	247,33 ± 32,28	255,40 ± 10,41
<b>COLOR INTERNO</b>						
Luminosidad L*	-	-	-	-	57,97 ± 0,17	55,57 ± 0,75
a*	-	-	-	-	-2,93 ± 0,05	-2,83 ± 0,00
b*	-	-	-	-	28,69 ± 0,37	27,73 ± 0,32
°H	-	-	-	-	84,17 ± 0,03	84,16 ± 0,06
Cromaticidad	-	-	-	-	28,84 ± 0,38	27,88 ± 0,32
Índice oscurecimiento	-	-	-	-	60,61 ± 0,77	61,30 ± 1,01

#### 4.1.5 Maduración e índices de cosecha

Finalizando el ciclo de desarrollo de cocona se genera un proceso de maduración que incide en la firmeza, el color y el contenido de sólidos solubles totales, para esto es necesario conocer que al momento de cosechar los frutos deben registrar un color naranja marrón casi en la totalidad de la superficie y una firmeza y un contenido final de sólidos solubles totales alrededor de 4,43 Kg-f/cm<sup>2</sup> y 5-6% respectivamente, parámetros apropiados para la determinación del índice de cosecha, por el contrario, las dimensiones físicas como peso fresco y diámetro no son validad como parámetros de recolección, ya que pueden verse afectados por las condiciones externas (Hernández et al., 2004a). En la figura 3 se presentan el índice de madurez de cocona.

Figura 3. Índice de madurez de cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) morfotipo II.



Fuente: (Hernández et al., 2004a).

Tabla 3. Composición nutricional de frutos de cocona

<b>Autores</b>	<b>(Paez et al., 2001)</b>	<b>(Hernandez &amp; Barrera, 2004b)</b>	<b>(Gonzales, 2007)</b>	<b>(Torres, 2010).</b>
<b>COMPONENTES</b>	<b>ECOTIPO II</b>	<b>ECOTIPOS II</b>		<b>100 g PULPA DE COCONA</b>
<b>Humedad</b>			91,50 g	88,52 g
<b>Azúcares totales</b>	4,73 % ± 0,256	4,73 %		2,09 mg
<b>Azúcares reductores</b>	2,76 % ± 0,087	2,76 %		
<b>Glucosa</b>				1,27 mg
<b>Fructosa</b>				578,00 mg
<b>Sacarosa</b>				236,00 mg
<b>Vitamina C</b>	12,82 ± 3,12 mg/100g pulpa	12,82 mg/100 g	27,00 mg	58,7,00 mg
<b>Lípido</b>			1,40 g	
<b>Pectina</b>	0,55 % ± 0,107	0,55 % b.s.		
<b>Materia seca</b>	8,27 % ± 1,023	8,27 % b.s.		
<b>Proteína</b>	2,32 % ± 0,41	2,32 % b.s.	0,60 g	0,78 g
<b>Extracto etéreo</b>	8,76 % ± 1,121	8,76 % b.s.		1,12 g
<b>Fibra total</b>	3,60 % ± 0,994	3,60 % b.s.	0,40 g	
<b>Ext. N. Nitrog</b>	78,52 % ± 2,1			
<b>Cenizas</b>	6,79 % ± 0,452	6,79 % b.s.	0,40 g	0,61 g
<b>Carbohidratos totales</b>		78,52 % b.s.	6,10 g	8,88 g
<b>Fibra dietética (fracción soluble)</b>				1,22 g
<b>Fibra dietética (fracción insoluble)</b>				2,59 g
<b>Calcio</b>		210,20 mg/100 g	120,00 mg	0,01 mg
<b>Potasio</b>		2691,60 mg/100 g		
<b>Fósforo</b>		1,87 mg/100 g	14,00 mg	0,26 mg
<b>Hierro</b>		7,72 mg/100 g	0,60 mg	0,13 mg
<b>Beta carotenos</b>			23,00 mg	0,06 g
<b>Vitamina B1</b>			0,25 mg	0,03 mg
<b>Vitamina B2</b>			0,10 mg	
<b>Vitamina B5</b>			0,50 mg	

#### **4.1.6 Valor nutritivo**

La cocona es una fruta catalogada como fuente nutricional útil para las deficientes nutricionales que tiene las poblaciones amazónicas que la cultivan (Hernandez & Barrera, 2004b; Silva et al., 2005; Silva, 2007). Es una fruta que puede estar presente en una dieta baja en calorías por su alta concentración de fibra, en particular pectina y ha demostrado contenidos considerables de hierro, vitamina A, C (Yuyama et al., 2007), potasio y calcio (Silva et al., 2005).

La cocona es una fruta que incide en la reducción de la concentración de glucosa en la sangre, este estudio que fue realizado en ratas, las cuales fueron alimentadas con una dieta a base de fibra procedente de la cocona (Yuyama et al., 2005).

Gracias a las propiedades nutricionales que tiene cocona, esta puede ser utilizada en pacientes que deben controlar los niveles de glucosa, colesterol, LDL-c y HDL-c triglicéridos en la sangre (Pardo, 2004). En la tabla 3 se presenta la composición nutricional de frutos de cocona reportada en diferentes estudios.

#### **4.1.7 Agroindustrialización y comercio**

Las frutas amazónicas como cocona son apetecidas en países europeos y Estados Unidos por su aroma y sabor exótico y es utilizada para la preparación de productos gourmet, sin embargo esta fruta ha tenido dificultad para ser exportada en fresco, debido a su susceptibilidad a daños mecánicos y su corto tiempo de vida útil (Figura 4) (Proexport Colombia e Instituto Alexander von Humboldt, 2003).

Para disminuir las pérdidas poscosecha y de comercialización de cocona, es necesario transformar la fruta en pulpa, jugos, concentrados, mermelada y dulces en almíbar, enriquecidos con vitaminas A, B o C, o calcio, buscando competir con sabor, trayectoria y precios poco competitivos (Proexport Colombia e Instituto Alexander von Humboldt, 2003). En el mercado nacional se puede conseguir confites, mermeladas y salsas agridulces y picantes (Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, 2008).

Por otra parte, la agroindustrialización de las frutas genera gran cantidad de residuos, en la mayoría de los casos representados en cáscara y semillas, los cuales al ser desechados al ambiente provocan problemas tales como putrefacción, malos olores, deterioro del paisaje, contaminación de suelos y de cuerpos de agua, y propagación de plagas. Para mitigar éstos problemas, algunos investigadores han empleado residuos de la agroindustria de frutas, para la generación de productos de valor agregado (Llanos et al., 2008; Guzmán et al., 2010; Araya et al., 2010; Navarrete et al., 2010; Dormond et al., 2011; Cerón et al., 2012; Ramírez et al., 2012; Serna et al., 2013).

Figura 4. Clasificación comercial de las frutas.



Fuente: (Proexport Colombia e Instituto Alexander von Humboldt, 2003).

Otras, investigaciones pretenden encontrar la manera de dar valor agregado a los residuos generados en el procesamiento de frutas a través de la transformación de semillas y de epidermis en productos nutracéuticos, conservantes naturales (Ashok et al., 2011; Alzate et al., 2011), antioxidantes y fibra (Chau & Huang, 2004; Ubando et al., 2005; Ajila et al., 2007; García et al., 2009; Bicas et al., 2011), los cuales son utilizados en productos alimenticios, y tienen beneficios para la salud del consumidor que pueden ayudar a disminuir enfermedades cardiovasculares, así como el cáncer de colon y la obesidad (Chen, 2011).

La caracterización física y química tanto de las frutas como de los residuos que se generan durante su agroindustrialización, es necesaria para encontrar un potencial uso de valor agregado.

Actualmente en el mercado internacional es de gran interés las frutas utilizadas como materias primas de productos alimenticios, farmacéuticos y cosméticos. Para entrar a este tipo de mercado se requiere un desarrollo tecnológico para conservar el contenido y la calidad de los nutrientes que se encuentran en la fruta, los procesos más precisos pueden ser pulpa congelada y fruta liofilizada (Proexport Colombia e Instituto Alexander von Humboldt, 2003).

## 4.2 Liofilización

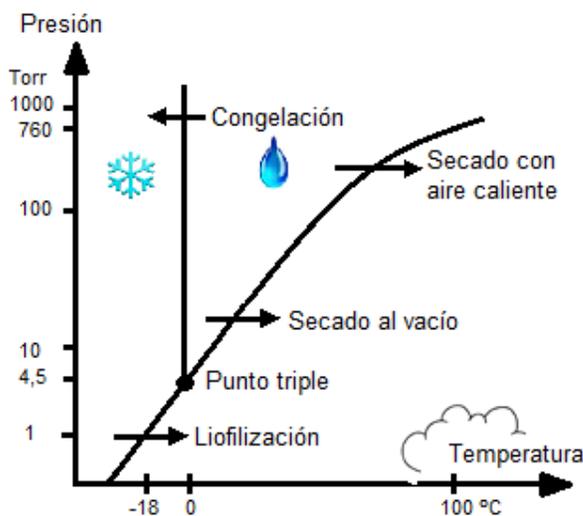
Los alimentos deshidratados son muy útiles cuando se desean conservar por largo tiempo o cuando no se consigue alimentos frescos a la mano (Grajales et al., 2005). El proceso de liofilización en alimentos se ha considerado como el mejor método de deshidratación que además de conservar las características organolépticas y nutritivas del alimento, le otorga un valor agregado aproximado del 120% (Ramírez, 2011). Esta técnica es utilizada con el objetivo de reducir las pérdidas de los componentes responsables del aroma y sabor, los cuales se ven afectados en los procesos convencionales de secado (Grajales et al., 2005), además de preservar algunos componentes como minerales y vitaminas (Marques et al., 2007).

Este proceso de deshidratación está basado en la sublimación del contenido de hielo en el alimento (Marques & Freire, 2005; Grajales et al., 2005). El estado sólido del agua, que se logra con la congelación rápida, protege la estructura primaria, cambios, forma y volumen de la fruta (Marques et al., 2007). El proceso de sublimación es mucho más eficiente a bajas presiones (vacío), ya que el agua se extrae bajo el impulso gradiente de presión total (Orrego 2002a; Biswal y Bozorgmehr, 1989 citados por Grajales et al (2005).

El cambio de fases del agua puede ser explicado con el diagrama de fases del agua (Figura 5), dando importancia a la sublimación, que se cumple cuando el agua se encuentra en fase sólida y con aplicación de baja presión pasa a fase gaseosa.

Las condiciones de operación como la velocidad de congelación, presión de la cámara y la velocidad de calentamiento son factores fundamentales en la calidad de los productos liofilizados, donde también intervienen las características de la materia prima como el grado de madurez (Hammami y René 1997 citados por Grajales et al., 2005).

Figura 5. Diagrama de fases de agua y sistemas de secado.



Fuente: (Ramírez, 2011).

### 4.2.1 Etapas del proceso de liofilización

El fundamento de liofilización consta de tres etapas: congelación, secado primario y secado secundario (figura 6).

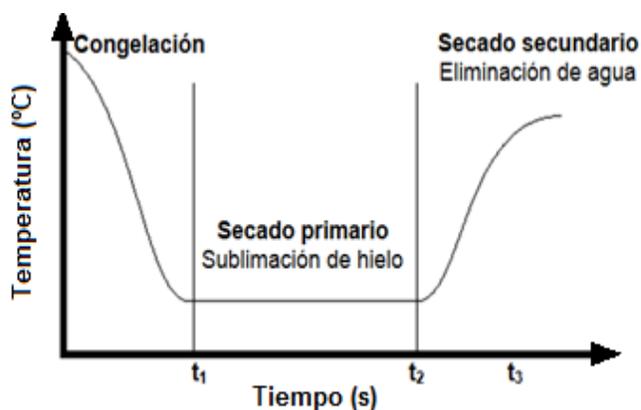
#### ▪ Congelación

En la etapa de congelación, el producto es sometido a bajas temperatura para que el agua que contiene el producto pase de fase líquida a fase sólida buscando la redistribución del soluto y una concentración relativa de la congelación parcial del agua, con el fin de facilitar la etapa de secado (Figura 6) (Rangel, 2004).

La disminución de temperatura se realiza hasta que el hielo inicie su etapa de nucleación o formación del cristal y luego se inicie la etapa de crecimiento del hielo, este proceso es importante para la formación del estado físico y morfológico de la torta congelada,

generando la separación entre la mayor parte de agua en cristales de hielo que salen de una matriz de solutos vítreos o cristalinos, esto puede garantizar el rendimiento del proceso de liofilización y la calidad del producto (Kasper & Friess, 2011).

Figura 6. Etapas del proceso de liofilización.



Fuente: (Barbosa & Vega, 2000).

Se busca que el producto ya congelado tenga una estructura sólida sin intersticios en los que haya líquido concentrado para propiciar que todo el secado ocurra por sublimación. En los alimentos se pueden obtener distintas mezclas de estructuras luego de la congelación que incluyen cristales de hielo, eutécticos, mezclas de eutécticos y zonas vítreas amorfas. Estas últimas son propiciadas por la presencia de azúcares, alcoholes, cetonas, aldehídos y ácidos, así mismo como por las altas concentraciones de sólidos en el producto inicial (Shofian et al., 2011).

La congelación es la etapa donde se establece la estructura y las características del producto a obtener después de la etapa de secado, lo cual le da importancia a conocer variables de congelación como la frecuencia, temperatura mínima de congelación, temperatura de la capa de congelación durante el secado, velocidad óptima de enfriamiento y temperatura mínima de fusión incipiente (Ceballos et al., 2012).

#### ▪ **Secado primario**

En el secado primario, el producto congelado se calienta bajo condiciones de vacío para retirar el agua por sublimación mientras la fruta se mantiene por debajo del punto

eutéctico (Ayala et al., 2010b). Durante esta etapa se remueve aproximadamente el 90% del agua total de la fruta, principalmente el agua libre y alguna parte de agua ligada (Welti et al., 2005). La variable de operación más importante en esta etapa es la presión en la cámara, la disminución de la presión en el secado, reduce la presión de vapor en la superficie externa del producto y se reduce el tiempo de secado (Evrantz et al., 2011). La permeabilidad a la difusión de vapor aumenta con la porosidad y tamaño de poro, lo que se traduce en un aumento de la velocidad de sublimación (Khalloufi et al., 2004; Ramírez, 2011).

- **Secado secundario**

El secado secundario se realiza por evaporación del agua que no se sublima en la etapa de secado primario, donde se eleva la temperatura de la matriz de alimento, para el inicio de esta etapa el producto debe contener menos del 3% del contenido de agua inicial (Welti et al., 2005). Las partes secas de la muestra que se liofiliza pueden comenzar su secado secundario aunque haya presencia en el alimento de hielo que sublima en fase primario; mientras estas dos fases coexistan, y debido que el hielo que sublima enfría la estructura, permanece controlada la temperatura del alimento (Orrego, 2008).

#### **4.2.2 Influencia de las condiciones de operación sobre el proceso de liofilización**

- **Velocidad de congelación**

Puesto que la congelación es una operación previa a la liofilización, la velocidad de congelamiento es determinante en las propiedades del producto seco, dado que influye directamente en el tamaño de poro producido luego de la sublimación de los cristales de hielo (Orrego 2003; Hammami y René 1997 citados por Grajales et al (2005). La velocidad de congelación lenta produce formación de cristales de hielo voluminosos que después de realizarse la sublimación, se transforman en poros, lo cual puede lograr una rápida velocidad de secado (Ramírez, 2011).

Sin embargo, aún se encuentra en discusión si la etapa de congelación proporciona consecuencias a los atributos de calidad del productos tales como la morfología, estado

físico del producto, contenido de humedad residual, tiempo de reconstitución y rendimiento de la primera y segunda fase de secado (Kasper & Friess, 2011).

- **Flujo de calor**

Los fenómenos de transferencia de calor y materia durante la liofilización se pueden resumir en términos de difusión para el transporte de vapor de agua durante la sublimación. La transferencia de calor se hace por conducción – convección gaseosa o radiación (o una combinación), donde esta es útil en la sublimación, la cual sucede por debajo del punto triple bajo las presiones de 627 Pa o menos (Orrego et al., 2009).

El flujo de calor es un factor importante para reducir la velocidad de secado. Si el secado se realiza rápidamente el producto puede colapsar y degradarse, y se presentan cambios en las características físicas del material seco. Cuando la temperatura de liofilización es alta se afecta la humedad final del producto, el producto sufre pérdida de su estructura y puede colapsar, se afecta la retención de aroma, se endurece el volumen del producto y se afecta su rehidratación (Pardo & Niranjana, 2011).

- **Presión de la cámara**

La presión de la cámara dependerá de las características físicas del material a liofilizar y de la temperatura a la cual se debe mantener el producto congelado. Si se deja aumentar la presión, la velocidad de sublimación será menor y la temperatura del material aumentará. Al llegar a cierta presión, la liofilización como tal se detiene. Para alcanzar velocidades óptimas de secado, la presión total debe ser alrededor de la mitad de la presión de vapor del hielo (Barreto, 1966).

- **Temperatura**

La temperatura en la liofilización está limitada a la temperatura que se derrite el hielo del material biológico, sin embargo el operador del liofilizador puede controlar indirectamente la fuente de calor para controlar que la temperatura de la superficie no deteriore el producto, ya que la temperatura de la superficie de secado depende de la cantidad de calor aplicado, la velocidad de sublimación y la efectividad de remoción de vapor (Barreto, 1966).

El efecto de la temperatura de las placas de un liofilizador puede influir en la cinética de rehidratación del producto final en polvo, si la temperatura de las placas disminuye se logra el aumento de la velocidad de rehidratación del producto en polvo (Arriola et al., 2006).

Cuando la temperatura aumenta sin tener en cuenta el tipo de material biológico a liofilizar, puede crearse una capa seca superficial y evitar el flujo de vapor al exterior, por esta razón los tejidos internos forman una superficie esponjosa, lo que se llama colapso (Barbosa & Vega, 2000).

### **4.2.3 Cambios estructurales durante la liofilización**

La etapa de congelación provoca la separación de las soluciones acuosas presentes en el producto en una mezcla de dos fases, hielo y una solución concentrada de solutos. Como consecuencia de la formación de hielo, se reduce el encogimiento del producto y se consigue una estructura esponjosa que permite una fácil rehidratación. Además, la movilidad de la fase concentrada es baja por lo que no se da ningún cambio estructural durante el secado, lo que contribuye a la estructura esponjosa mencionada previamente (Van Arsdel y Copley, 1963; Massaldi y King, 1974; Karel, 1975; Bruin y Luyben, 1980 citados por (Barbosa & Vega, 2000)). Otra característica de los alimentos liofilizados es una estructura de densidad global baja que proviene de los espacios huecos en forma de aguja que previamente estaban ocupados por cristales de hielo.

#### **▪ Colapso**

Colapso o contracción, es un término utilizado en liofilización, para describir la pérdida de estructura, donde se observa la reducción de tamaño de poro y la contracción volumétrica (Khalloufi et al., 2010; Madiouli et al., 2012). Según Harnkarnsujarit & Charoenrein (2011), colapso es el flujo viscoso que resulta de una disminución de la viscosidad por encima de la transición vítrea ( $T_g$ ), y la pérdida de estructura se produce porque el material es incapaz de soportar su propio peso. Si la temperatura del producto poroso que se está liofilizando está por encima de la temperatura de transición vítrea, la viscosidad del material sólido puede no ser suficiente para soportar la estructura y se produce la contracción, o colapso (Oliveira et al., 2010). El colapso también es definido

como la disminución en el volumen o el aumento de la densidad aparente específica (Cui et al., 2008).

Sin embargo, en términos prácticos lo que se busca en la liofilización de frutas, es obtener un material de estructura no encogida, poroso, que facilite la rápida y casi completa rehidratación cuando se añade agua (Duan et al., 2010).

Como se mencionó arriba, la temperatura del secado primario es una variable que se debe controlar para evitar el colapso, si la temperatura de liofilización es alta se afecta la humedad final del producto, el producto sufre pérdida de su estructura y puede colapsar, se afecta la retención de aroma, se endurece el volumen del producto y se afecta su rehidratación (Harnkarnsujarit & Charoenrein, 2011).

El colapso se nota por un encogimiento del producto seco y estas estructuras son sensibles a los cambios en sus características físicas, químicas y microbiológicas, que reducen la vida útil y la estabilidad del producto (Ceballos, 2008; Queiroz et al., 2008; Karelovic-Martinez, 2012). Sin embargo, algunos estudios muestran que el colapso disminuyen la velocidad de algunas reacciones químicas, como la oxidación (Prado et al., 2006) y la liberación más lenta de algunos compuestos volátiles atrapados (Levi & Karel, 1995).

El colapso de la estructura de las frutas se puede controlar, físicamente, modificando las estructuras del producto antes de la liofilización, y químicamente, con la adición de compuestos (sacarosa y etanos, entre otras) que modifiquen la temperatura de colapso o la limiten, y con el control de las variables del proceso como la velocidad de congelación y temperatura de congelación (Ceballos, 2008), por ejemplo los productos que tienen alto contenido de azúcares, como zumos de frutas, tendrán temperaturas inferiores de colapso (Oliveira et al., 2010).

El colapso tiene un relación estrecha con la rehidratación y la porosidad del producto, se puede determinar si la muestra ha colapsado, cuando se estudia el comportamiento de la rehidratación, ya que el daño estructural disminuye la capacidad de rehidratación (Marques et al., 2009).

### ▪ Porosidad

La porosidad está definida como la relación que existe entre la fracción de volumen de poros totales y el volumen total del alimento (Rahman et al., 2005), la porosidad afecta la textura y la calidad de los alimentos de humedad intermedia y secos, sin embargo ésta característica es más importante en los productos liofilizados que en los deshidratados por microondas, o por aire convencional (Purnama et al., 2010).

Los valores experimentales de la porosidad y la densidad de un producto permiten hacer un modelado y diseño de diversas operaciones de transferencia de calor y masa, tales como secado, calentamiento y extrusión de alimentos particulados. (Ramírez, 2011; Madiouli et al., 2012). La información sobre las características de los poros individuales y las propiedades estructurales de las frutas secas se puede utilizar para el diseño del proceso, la determinación de calidad del producto y la estimación de otras propiedades tales como la conductividad térmica, densidad, difusividad de la humedad, y características de extracción de componentes bioactivos (Rahman & Sablani, 2003). La porosidad en una fruta fresca o liofilizada puede medirse relacionando la densidad aparente ( $\rho_a$ ) y la densidad real ( $\rho_r$ ), sin embargo, Madiouli et al. (2012), exponen un método que permite calcular el grueso del poro, incluyendo poros abiertos y cerrados, mientras que los métodos experimentales directos no permiten dar resultados de las formaciones porosas cerradas. Técnicas de microscopia pueden utilizarse para estudiar el cambio de estructura en frutas liofilizadas y encontrar una relación con algunas propiedades físicas. Con SEM (the scanning electron microscope) se pueden estudiar los cambios de la microestructura de un sistema modelado de alimentos y puede utilizarse para medir el tamaño del poro de las frutas liofilizadas, de igual forma, en productos pulverizados dicha tecnología permite determinar el tamaño y la forma de las partículas (Yeom & Song., 2010).

El poro se forma por los espacios pequeños o grandes, que dejan los cristales de hielo durante el proceso de congelación de la fruta. Estos espacios facilitan la difusión de vapor de agua durante el proceso de secado. La porosidad de las frutas liofilizadas depende de la velocidad de congelación, al aumentar o disminuir la velocidad de congelación, da paso a la formación de cristales de hielo que dejan poros grandes o pequeños, según se utilice congelación lenta o rápida respectivamente (Voda et al., 2012). En frutas la velocidad de congelación lenta, facilita la formación de cristales

voluminosos y la formación de poros, en la sublimación, lo cual facilita el secado y posteriormente la rehidratación (Ramírez, 2011). Sin embargo, Pardo y Niranján (2011) describen que el tamaño del poro tiene un efecto pequeño sobre el flujo de vapor.

▪ **Color**

El color es una característica importante de las frutas, ya que en el momento de la compra, esta característica llama la atención de los consumidores y juega un papel importante en el momento de la escogencia y comprar del producto (Krokida et al., 2001), sin embargo los productos procesados deben tener un color similar al de la fruta en fresco para lograr que el consumidor genere relación entre los mismos (Guiné et al., 2011), en el proceso de liofilización, el color de las frutas es indicador de calidad (Ceballos, 2008).

Tabla 4. Parámetros de color

Parámetros	Definición	Rango o escala
<b>L</b>	El eje L es el de luminosidad (lightness)	100 (Blanco); 0 (Negro) 0-50 Oscuro; 51-100 Iluminado
<b>a</b>	Es el eje que representa la variación entre rojizo-verdoso.	Valor positivo = rojo Valor negativo = verde
<b>b</b>	Es el eje que representa la variación entre amarillizo-azulado.	Valor positivo = amarillo Valor negativo = azul
<b>Croma (C*)</b>	Es la saturación o intensidad de un color particular. No blanco, gris o negro.	Viveza Palidez
<b>Tono (h*)</b>	Estado puro del color, sin el blanco o negro. Un objeto se juzga a ser de color rojo, amarillo, verde o morado. El valor de h* es el ángulo del tono.	0° 360°
<b>Cambio total de color (<math>\Delta E</math>)</b>	Tamaño de la diferencia que existe entre dos colores.	

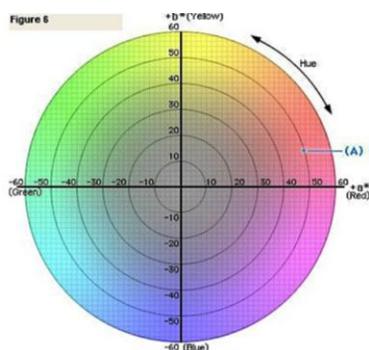
Fuente: (Ordosgoitía & Romero, 2007).

Las frutas liofilizadas tienen mejores características de colores rojos y amarillos, comparado con frutas deshidratadas por métodos tradicionales (Shishegarha et al., 2002). Sin embargo, al realizar un análisis de la cinética del color en frutas liofilizadas, el

croma disminuye significativamente, mientras que el ángulo de tono se mantiene constante, la luminosidad aumenta si es comparada con luminosidad de productos secados por convección (Guiné & Barroca, 2012).

Para la medición de color se utilizan los programas Image tool y easy EGB, con el último se obtienen coordenadas con la escala CIE L\*a\*b, muy fácil de interpretar y muy útil para el análisis de los datos, además que el espacio CIE L\*a\*b permite especificar estímulos de color en un espacio tridimensional (Tabla 4) (Ordosgoitia & Romero, 2007) (Figura 7).

Figura 7. Espacio de color CIELAB.



Fuente: (Konica Minolta, 2003).

#### ▪ Contenido de ácido ascórbico (vitamina C)

Los compuestos antioxidantes tales como ácido ascórbico juegan papeles terapéutico y preventivo contra varias enfermedades tales como el envejecimiento, la inflamación y ciertos tipos de cáncer. Los procesos de post-cosecha, como el secado, corte, almacenamiento, envasado, fermentación y cocción, etc., pueden afectar a la composición de antioxidantes y su actividad, sin embargo la liofilización es un proceso recomendado para el secado de materiales que contienen componentes antioxidantes sensibles al calor tales como el ácido ascórbico. (Shofian et al., 2011).

El ácido ascórbico es el ácido orgánico más importante de las frutas y verduras, en relación con su valor nutricional (Meléndez et al., 2004), es un ácido hidrosoluble, sensible al calor y a las reacciones de oxidación, característica que demuestran que el ácido ascórbico se puede destruir fácilmente en presencia de oxígeno o aumento de temperatura. La oxidación también depende del pH, ya que la forma ionizada es más sensible que la forma no ionizada. Su estructura de lactona muestra que la acidez se

debe a la posibilidad que se ionice el hidroxilo situado sobre el carbono 3, formando un anión que queda estabilizado por resonancia (Paredes, 2010).

El contenido de ácido ascórbico puede disminuir en tratamiento de altas temperaturas, ya que su degradación química implica la oxidación de ácido ascórbico a ácido dehidroascórbico, seguido por hidrólisis a ácido 2,3-dicetogulónico y polimerización adicional para formar otros productos nutricionalmente inactivos (Chang et al., 2006).

Algunos estudios informan que la liofilización puede retener la cantidad de ácido ascórbico gracias a que el tratamiento se realiza con bajas temperaturas, obteniendo el mínimo deterioro de esta vitamina hidrosoluble (Shofian et al., 2011).

#### **4.2.4 Otras propiedades importantes de los productos liofilizados**

- **Rehidratación**

La rehidratación es considerada una medida de la lesión del material causado por secado y tratamiento anteriores a la deshidratación, el grado de rehidratación es dependiente del grado de alteración celular y estructural. El proceso de rehidratación consta de tres procesos simultáneos, la absorción de agua en el material seco, la hinchazón y la lixiviación de los solubles (Krokida et al., 1999).

El proceso de rehidratación no es un mecanismo reversible respecto de la deshidratación, son muchos los cambios que se producen en un alimento deshidratado, su estructura quebrantada y arrugada es incapaz de regresar a su configuración original (Lee et al., 2006).

Sin embargo, la rapidez y facilidad de reconstitución o rehidratación de un producto liofilizado, marca su calidad y superioridad de este método sobre otros métodos de secado (Barreto, 1966). La rehidratación es una característica importante de las frutas liofilizadas, que depende de características como tamaño, geometría, composición, contenido de humedad y porosidad (Marín et al., 2006), ya que la formación de cristales voluminosos facilitan la rehidratación (Ramírez, 2011). También depende del medio rehidratante utilizado, de la temperatura, del tiempo y de la agitación (Arriola et al., 2006),

y de las variables relacionadas con pretratamientos previo a la liofilización (Ayala et al., 2010a).

Es importante resaltar que al hablar de la rehidratación de un producto es importante estudiar la capacidad de rehidratación (CR), que se refiere a la capacidad de absorber agua en relación al agua que se pierde durante el proceso de deshidratación. La disminución o aumento de este índice puede ser por la desnaturalización y/o agregación de proteínas bajo el efecto de calor, concentración de sales, desorción de agua, destrucción de pectinas y membrana celular. (Marín et al., 2006).

#### ▪ Solubilidad

La solubilidad es la velocidad y grado de la capacidad de disolver una determinada sustancia (solute) como polvos de frutas en un determinado medio (solvente) como agua, esta capacidad puede verse afectada por la fuerza intermolecular entre el soluto y el solvente y la temperatura, si el calor total de la disolución es exotérmico, la solubilidad disminuye con el aumento de temperatura y si es endotérmico, la solubilidad aumenta con el aumento de temperatura, por esta razón la forma de lograr una solubilidad estable se debe realizar a temperatura constante, donde no es importante la agitación y la pulverización, ya que estas últimas dos variables solamente aceleran la llegada del punto de saturación y no aumenta la solubilidad (Ceballos, 2008).

La solubilidad también está directamente relacionada con la microestructura del polvo instantáneo, las partículas amorfas poseen una alta solubilidad y alta velocidad de disolución en comparación con partículas cristalinas. Sin embargo, la solubilidad puede presentar problemas cuando el producto presenta altas concentraciones de sólidos o es sometido a altas temperaturas (Cano et al., 2005).

### **4.2.5 Ventajas del proceso de liofilización**

La liofilización garantiza que las frutas retengan en mayor proporción, propiedades como forma, dimensiones, aspecto, sabor, color, textura e ingredientes activos (Duan et al., 2010; Ceballos et al., 2012; Duan et al., 2013), otorgándole un valor agregado aproximado del 120% (Witkiewicz & Nastaj, 2010; Ramírez, 2011).

Al igual que con el uso de métodos tradicionales, en las frutas liofilizadas, el proceso de rehidratación no es totalmente reversible respecto a la deshidratación, sin embargo, en la liofilización el daño ocurrido en los grupos hidrófilos responsables de la interacción con el agua, es menor, por lo cual los productos liofilizados rehidratan rápidamente y pueden llegar a alcanzar el contenido de humedad y propiedades organolépticas similares a las del alimento original (Jiang et al., 2010).

En comparación con los productos obtenidos de otros procesos de deshidratación, los productos liofilizados tienen una estructura porosa, sabor superior y retención del aroma (Ceballos et al., 2012). La gran porosidad del producto facilita con rapidez la reconstitución por la adición de agua o del solvente adecuado, a mayor porosidad mayor capacidad de rehidratación y es una característica que sirve como medida de la calidad del producto (Ayala et al., 2010b).

La reducción de volumen es mínima (Shishegarha et al., 2002).

En la liofilización, las temperaturas a las que se someten las frutas, están por fuera de los rangos en los cuales muchas sustancias inestables sufren cambios químicos. A las temperaturas de congelación empleadas en liofilización, la pérdida de los constituyentes volátiles es mínima y se reduce el peligro de contaminación microbiana (Yurdugül, 2008).

Las frutas liofilizadas quedan con muy baja humedad por lo cual pueden almacenarse por largos periodos de tiempo, constituyéndose en productos de alta estabilidad (Shishegarha et al., 2002).

Las propiedades de las frutas liofilizadas permiten que sean utilizados como colorantes de alimentos naturales y antioxidantes en el futuro (Yurdugül, 2008).

Además la liofilización permite obtener frutas en polvo, útiles como materias primas para salsas, especias e incluso en la industria farmacéutica. (Proexport Colombia e Instituto Alexander von Humboldt, 2003). Es una tecnología ideal en los casos en los cuales no se puede disponer de fruta fresca como es el caso de los astronautas (Grajales et al., 2005).

### 4.2.6 Desventajas del proceso de liofilización

A pesar de que el proceso de liofilización trae ventajas para la transformación de alimentos con una vida útil estable y larga, las desventajas se encuentran en su proceso como el poco desarrollo de conocimiento en la congelación, ya que generalmente se especializan en las etapas siguientes de secado, sin embargo la mayor desventaja es el largo tiempo (~ días) empleado y los gastos intensivos de energía que requiere la etapa de secado primario, lo que conlleva a los altos costos de procesamiento (Kasper & Friess, 2011).

El secado por liofilización necesita largos tiempos de proceso y alto consumo de energía (Duan et al., 2013), ya que requiere energía para congelar la fruta, sublimar el hielo, secar la fruta, condensar el vapor de agua y mantener la presión de vacío en el sistema (Sadikoglu et al., 2006; Benlloch et al., 2013), el costo de energía necesaria para la bomba de vacío y la sublimación son alrededor del 26% al 45% del consumo total de la energía del proceso (Menlik et al., 2010). De igual manera, juegan papel importante en el costo de operación las condiciones de operación, como la presión de la cámara, la velocidad de calentamiento y la velocidad de congelación (Arriola et al., 2006).

Otra limitante ocurre en los casos en los cuales ocurre colapso por liofilización, ya que la estructura de la fruta quebrantada y arrugada, no puede regresar a su configuración original (Lee et al., 2006).

Finalmente una limitante que está estrechamente relacionada con la estabilidad de los productos liofilizados es la higroscopicidad, los productos liofilizados son altamente higroscopicos y se busca alargar su vida útil con la adición de solutos como goma arábica, fosfato tricálcico, maltodextrina que puede aumentar la estabilidad del producto y actuar como barrera para la adsorción de agua (Kaushik & Roos, 2007; Oliveira et al., 2010; Fabra et al., 2011; Benlloch et al., 2013; Ceballos et al., 2012; Mosquera et al., 2012).

## 4.3 Cinética de liofilización

La cinética de la liofilización consiste en hacer el seguimiento de variables en función del tiempo. Las mediciones se hacen en algunas de sus etapas, ya sea durante la

congelación, o el secado primario (sublimación). Durante la cinética de liofilización se evalúa la eliminación del hielo a través de los poros en forma de vapor de agua (Barbosa & Vega, 2000), sin embargo existen muchos investigadores que analizan la cinética en la liofilización, de contenido de agua, flujo de vapor, formación de poro, color, entre otras (Pardo & Niranjana, 2011; Marques et al., 2007; Ayala et al., 2010a; Ceballos et al., 2012).

#### **4.4 Frutas en polvo**

La industria alimentaria viene estudiando, desarrollando y comercializando hace 10 años los alimentos en polvo, para lo cual la ciencia y la tecnología se han unido y han identificado una disciplina que integra campos científicos fundamentales (ingeniería de procesos, ingeniería de partículas, física, química de superficie, fisicoquímicas, bioquímica de alimentos, calidad de alimentos, entre otras) (Ortega, 2009; Murrieta et al., 2012).

Los polvos alimentarios son sistemas complejos que se pueden definir por la variabilidad en sus propiedades causadas por la composición química de las materias primas agrícolas, la diversidad de las estructuras nativas del producto y la reactividad en condiciones de alta temperatura o la adición de agua (Cuq et al., 2011).

El objetivo de la producción de polvos alimentarios es la prolongación de su vida útil de los productos de origen agrícola, por medio de la reducción de contenido de agua, lo cual conlleva a mantener la estabilidad de la funcionalidad del alimento. Las principales funcionalidades de los polvos alimentarios pueden clasificarse en fisicoquímico (gelificación, emulsificación, formación de espuma, control de pH), nutricionales (vitaminas, nutraceuticos) y organolépticas (color, sabor, aroma, textura) (Fitzpatrick & Ahrné, 2005).

La transformación de frutas frescas en polvos de fruta obtenidos por deshidratación es una buena alternativa para reducir costos en volumen y aumentar la vida útil en anaquel, sin embargo si la materia prima tiene contenidos altos de azúcar, estas pueden generar pegajosidad en el momento de convertirla en polvo (Cano et al., 2005).

Otro interés de la producción de frutas en polvos es su utilidad como aditivo en alimentos como los cereales, debido a que proporcionan color, sabor y contenido de antioxidantes, sin embargo este aditivo puede aumentar los costos de los cereales, la ventaja es que pueden ser más atractivos y funcionales para los consumidores (Camire et al., 2007; Uchoa et al., 2009).

La cocona en polvo deshidratada a 60°C por 72 horas es una excelente fuente de proteína y potasio, el contenido de humedad, lípidos y pH disminuyen, manteniendo su calidad en un periodo de 180 días (Silva et al., 2010).

## **4.5 Vida útil**

Un alimento es un sistema fisicoquímico y biológico activo, que hace que su calidad tenga un estado dinámico que se mueve hacia niveles más bajos respecto al tiempo, donde va disminuyendo sus propiedades sensoriales y de seguridad, a este periodo de tiempo se le llama vida útil o de anaquel de alimento (Brown & Williams, 2003; García & Molina, 2008).

Los productos liofilizados son sumamente susceptibles a cambios físicos y químicos si no están provistos de una adecuada protección. Una de las reacciones que limita el tiempo de vida útil en este tipo de productos es la aparición de un color marrón debido a una acción no enzimática que trae consigo un detrimento en las propiedades nutritivas como la cantidad de ácido ascórbico disponible. El método principal para evitar este tipo de reacción es secar hasta porcentajes de humedad muy bajos determinado por el producto y consideraciones económicas. La remoción total de agua al extremo de tener la concentración de agua menor que al nivel correspondiente a la capa monomolecular, acelera otro tipo de reacciones como la oxidación de lípidos. (Barreto, 1966).

### **4.5.1 Modelos para determinar vida útil en alimentos**

Para la determinación de vida útil, el alimento es sometido a estrés bajo condiciones de almacenamiento controladas y las predicciones de cambios en las características fisicoquímicas se obtienen aplicando modelos matemáticos diseñados para pruebas aceleradas en alimentos muy estables (Rodríguez, 2010).

Por consiguiente se debe modelar el cambio en las concentraciones de los factores relacionados con la calidad en función del tiempo, esto permite expresar la tasa de pérdida de calidad (Ecuación 1) (Salinas et al., 2007).

Ecuación 1.

$$r = \pm \frac{d[A]}{dt} = kf^{\alpha}[A]^{\alpha}$$

Dónde: A = características del alimento; a = orden aparente o pseudo orden de la reacción para el componente A; kf' = constante aparente de reacción; ± = aumento de una característica indeseable (+) y pérdida de una característica deseable (-)

Las reacciones de deterioro de alimentos generalmente tienen una cinética de orden cero o primer orden, si a=0 la reacción es de orden cero, la ecuación 1 se expresaría en la ecuación 2.

Ecuación 2.

$$r = \pm \frac{d[A]}{dt} = kf^{\alpha}$$

La temperatura influye sobre la velocidad de la reacción de deterioro del alimento, para demostrar esto se usa la ecuación de Arrhenius (Ecuación 3).

Ecuación 3.

$$k_T = k_0 \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right)$$

Dónde: k = constante específica cinética; k<sub>0</sub> = factor pre-exponencial; E<sub>A</sub> = energía de activación (J mol<sup>-1</sup>); R = constante universal de los gases (8,3145 JK<sup>-1</sup>mol<sup>-1</sup>); T = temperatura (K). Este modelo puede ser utilizado para describir la dependencia respecto a la temperatura de la constante de reacción en que la mayoría de los alimentos son almacenados (4 a 45°C para alimentos deshidratados) (Salinas et al., 2007).

Para describir la relación entre la temperatura y la constante de reacción, también se utilizar el valor Q<sub>10</sub> (Ecuación 4).

Ecuación 4.

$$Q_{10} = \frac{k_1}{k_2}$$

Donde  $k_1$  = constante de reacción a la temperatura  $(T+10)$  ( $^{\circ}\text{C}$ );  $k_2$  = constante de reacción a la temperatura  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ). Para obtener la ecuación propuesta por Singh & Heldman (1993), se deben reemplazar las constantes de reacción en función de la temperatura, para obtener la relación entre el parámetro  $Q_{10}$  con la energía de activación (Ecuación 5) (Curia et al., 2005).

Ecuación 5.

$$\ln Q_{10} = \frac{E_A}{RT} \left[ \frac{10}{T(T+10)} \right]$$

$Q_{10}$  es el factor de aceleración que se utiliza para predecir el efecto de las variaciones de temperaturas de almacenamiento en un alimento, que demuestra el número de veces que se modifica la velocidad de una reacción de deterioro cuando la temperatura es variada en  $10^{\circ}\text{C}$  (Rondón et al., 2004).

Las condiciones normales de almacenamiento de un alimento deshidratado se encuentran de  $15^{\circ}\text{C}$  a  $30^{\circ}\text{C}$ , con una humedad relativa de 55-75%, para realizar ensayos de estimación de vida útil acelerada para disminuir tiempo y costos de investigación, es necesario aumentar la temperatura para que ocurran reacciones que en condiciones normales tardarían años en suceder, sin embargo se debe tener cuidado con este tipo de reacciones y la escogencia de la temperatura a aplicar. Con el uso de una cámara climática se puede aumentar la temperatura a  $40^{\circ}\text{C}$  donde 1 día equivale a 4 días de almacenamiento normal (Posada, 2011).

Para la escogencia de un empaque para los productos liofilizados es necesario determinar los cambios en su calidad durante la vida útil, para esto un empaque de polietileno laminado con aluminio puede disminuir o evitar totalmente los cambios en la calidad comparado con un empaque de polietileno de alta densidad (Kumar & Mishra, 2004).



## 5. Estado del arte

A continuación se presentan cronológicamente algunas investigaciones realizadas con cocona y otras investigaciones en frutas diferentes dónde se utilizó la liofilización, se midieron variables y se estimó vida útil de polvos de frutas.

Ee et al. (2014) determinaron la vida útil de los polvos de cáscara de pitahaya secados por pulverización, las condiciones de almacenamiento fueron realizada en condiciones aceleradas (45°C, 38% HR) por 14 semanas y otro lote a 28°C y 50-70% HR por 6 meses, empacados en polietileno de baja densidad. Los cambios fisicoquímicos (SEM, contenido de humedad, actividad de agua, higroscopicidad, solubilidad, color (Hunter a)) fueron utilizados como indicadores de estabilidad y los cambios de retención del pigmento betacianina para estimar la vida útil. Color tuvo el mayor cambio significativo durante el almacenamiento, actividad de agua final no excedió de 0,6, tuvo una solubilidad de 87-92% y baja higroscopicidad en polvo. La retención de pigmentos fue de 87% a 45°C y 89% a 28°C. La degradación de betacianina presentó cinética de primer orden y tuvo 76 semanas a 45°C y 152 semanas a 28°C.

Dak et al. (2014) estimaron vida útil en almacenamiento acelerado (38°C y 90% de humedad relativa) de granada deshidratada por microondas al vacío que fueron empacadas en bolsas de polipropileno de alta densidad (HDPP) y polietileno laminado (ALP). El factor determinante de vida útil fue la diferencia total de color ( $\Delta E$ ) que predijo 96 y 187 días para HDPP y ALP, respectivamente. Se estudiaron los factores calidad antocianinas, compuestos fenólicos, sólidos solubles totales y acidez titulable que mostraron orden de reacción cero y determinaron que el ALP es un empaque con mejor efecto protector que el HDPP.

Natividad y Cáceres (2013), evaluaron rendimiento, contenido de humedad, proteína, extracto etéreo, cenizas, carbohidratos, fibra, densidad, viscosidad, sólidos solubles, azúcares reductores, acidez titulable, pH y solubilidad en pulpa refinada, muestra

liofilizada y pulpa liofilizada reconstituida de cocona. Determinaron que la pulpa refinada de cocona fresca presentó 93,61% de humedad, el producto en polvo liofilizado mostró alta higroscopicidad, humedad de 5,14% y solubilidad en agua de 84,33%, con ligeras variaciones en sus características con respecto al producto inicial.

Henríquez et al. (2013), estudiaron la estabilidad del polvo de cáscara de manzana empacado en polietileno de alta densidad (HDPE) y película metalizada de alta barrera (MFHP) almacenadas bajo condiciones aceleradas (38°C, 90% HR) y convencionales (4, 10 y 25°C, 60-70% HR) durante 120 días. Las variables de respuesta fueron contenido de humedad y contenido de fenoles totales, las cuales dependen de las condiciones de empaque y almacenamiento. El factor determinante de vida útil fue la migración de humedad y demostraron que el empaque que conserva la mayor parte de las propiedades antioxidantes es la película metalizada de alta barrera (MFHP).

Caceres et al. (2012), compararon diferente tratamiento para pelar cocona y evitar pérdida y pardeamiento enzimático, los tratamientos fueron inmersión en solución de NaOH 2,5% hirviendo durante 5 minutos, exposición al vapor de agua, inmersión en agua a 96°C por 5, 10, 15 y 20 minutos y pelado manual sin calefacción con un cuchillo de acero inoxidable. Los tratamientos fueron evaluados para la integridad de fruto, facilidad de pelado, textura y peroxidasa. Obtuvieron que el mejor tratamiento, exposición en NaOH al 2,5% por 5 minutos, inhibe el pardeamiento enzimático, intensifica el color amarillo natural de la fruta, y promueve la descamación simultánea, sin dañar los tejidos, y recomiendan este tratamiento para la transformación industrial de cocona.

Ceballos et al. (2012), evaluaron en la liofilización, el efecto de la velocidad de congelación, humedad final y el contenido de ácido ascórbico, solubilidad en agua, rehidratación y color en liofilizado de pulpa de guanábana tratados con maltodextrinas, donde obtuvieron que la velocidad de congelación es un factor determinante para las propiedades estructurales del producto congelado y consecuentemente de las muestras liofilizadas.

Shofian et al. (2011), investigaron el efecto de la liofilización en los componentes antioxidantes y la actividad antioxidante en cinco frutas, carambola (*Averrhoa carambola* L.), mango (*Mangifera indica* L.), papaya (*Carica papaya* L.), melón (*Cucumis melo* L.), y

sandia (*Citrus lanatus* (Thunb.)), donde encontraron que la liofilización afecta notablemente la actividad antioxidante de las frutas.

Silva et al. (2010), procesaron cocona por medio de secado en un horno de circulación de aire a 60°C por 72 horas constantemente, la harina fue empacada en 25 g en bolsas de polietileno, donde evaluaron vida útil teniendo en cuenta las características químicas, fisicoquímicas y microbiológica, dándole tres condiciones de almacenamiento (26°C, 4°C y -18°C) en siete períodos (0, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 días). En relación con la acidez físico-química, el pH, lípidos, proteínas, yodo, plata, minerales, fibras y humedad, se determinaron de acuerdo con los métodos propuestos por la AOAC (1995, 1998), AEP y col. (1983) y IAL (2005, 2008), respectivamente. Se realizaron análisis microbiológicos: salmonella, coliformes totales y fecales y bacterias mesófilas, psicrófilas, mohos, levaduras y *Escherichia Coli* según ICMSF (1988). La harina se puso a prueba sobre la aceptabilidad sensorial utilizando una escala hedónica de nueve puntos según el método descrito por Miller (1984). Obtuvieron que la harina de cocona fue buena fuente de proteína y potasio, de bajo contenido de humedad y lípidos. pH, acidez, yodo y resultados microbiológicos no mostraron diferencias significativas. Los ensayos sensoriales demostraron que la harina de cocona fue bien aceptada.

Pua et al. (2008), determinaron vida útil en condiciones aceleradas de polvo de yaca empacada en polipropileno laminado y polipropileno biaxial co-extruido metalizado, almacenado a 28°C con 50%, 75% y 90% de humedad relativa por un periodo de 12 semanas donde evaluaron diferencia de color total ( $\Delta E$ ), tasa de humedad absorbida y atributos sensoriales. Demostraron que  $\Delta E$  es de orden de reacción cero y la constante cinética fue mayor para el polvo de jaca empacado en bolsas de polipropileno biaxial co-extruido metalizado almacenado a 28°C, los atributos sensoriales se redujeron drásticamente en un 90% de humedad relativa después de 4 meses de almacenamiento y en los dos tipos de empaques. El estudio sugirió empacar el polvo de jaca en bolsas de polipropileno laminado y almacenar a 28°C y humedad relativa inferior a 75%.

Cui et al. (2008), combinaron la liofilización con secado de microondas al vacío para secar muestras de zanahoria y chips de manzana obteniendo una humedad no menor a 7% (base húmeda) y demostraron que la retención de vitamina C se acerca a los

productos liofilizados, las muestras tienen capacidad para rehidratarse y una apariencia atractiva.

Yuyama et al., (2008), formularon y evaluaron una jalea de cocona con xilitol como sustituto de la sacarosa. Para la formulación de la jalea usaron la relación 1:1 (pulpa: xilitol y pulpa: sacarosa) y llegaron a una concentración de 65°Brix con ajuste de pH y adición de pectina. El contenido de humedad, proteínas, lípidos, cenizas, pH, acidez total, azúcares totales y reductores fueron determinados. Analizaron vida útil del producto mensualmente en un periodo de 180 días por medio de análisis fisicoquímico, microbiológico y sensorial mediante análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medidas fue con la prueba de Tukey al 5% nivel de significación. Los resultados mostraron la aceptación del xilitol en el producto y la estabilidad en la calidad fisicoquímica y microbiológica durante el almacenamiento.

Pardo y Niranján (2011), desarrollaron un modelo de liofilización que relacionaba la cinética de congelación y sublimación en extractos de café donde concluyeron que los cristales formados durante la congelación pueden usarse para relacionar la cinética de congelación con la de sublimación y además es útil para predecir patrones de temperatura durante la liofilización de materiales no estructurados.

Marques et al. (2006), con su estudio buscaron determinar experimentalmente las propiedades físicas como densidad aparente, densidad real y porosidad en pulpas de frutas tropicales como piña, cereza, guayaba, papaya y mango para llevar a cabo el análisis nutricional de la vitamina C, calcio y fósforo en el secado por liofilización, encontrando que la densidad aparente tuvo una relación lineal con el contenido de humedad, siendo baja en las frutas estudiadas, que la densidad real de las frutas se debe a la presencia de carbohidratos en el producto final. Las frutas liofilizadas presentaron altos valores de porosidad (0,84 – 0,93), conservan su color y contienen alto valor nutricional. La cereza y la guayaba fueron altamente higroscópicas.

Grajales et al. (2005), analizaron en carambolo liofilizado osmodeshidratado, la influencia de la velocidad de congelación y de calentamiento en el potencial de rehidratación y el contenido de vitamina C, demostrando mediante prueba sensorial comparativo, que la

lío-filización ocasionó pérdidas en aroma y sabor propias de la carambola y encontrando preferencia en la frutas más dulce.

Marques y Freire (2005), estudiaron la cinética del secado en la lío-filización para pulpas de piña, guaba y mango donde encontraron que el intervalo de tiempo requerido para completar la lío-filización de la piña y la guava fueron alrededor de 9 min y para el mango alrededor de 8 min, obteniendo producto de poro pequeño.

Jaya y Das (2005), determinaron vida útil en condiciones acelerada para el polvo de mango empacado en aluminio y almacenado a  $38\pm 2^{\circ}\text{C}$  con 90% de humedad relativa, el polvo de mango secado al vacío tenía una adición de monoestearato de glicerol y fosfato tricálcico a 0.015 kg cada uno por kg de sólidos de mango y maltodextrina en 0,62 kg por kg de sólidos secos de mango. Consideraron como variables de respuesta contenido de humedad, actividad de agua y la diferencia de color total ( $\Delta E$ ), y utilizaron el modelo GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer). Para la relación establecida entre actividad de agua y contenido de humedad, la vida útil fue de 114 días, mientras de la vida útil real fue de 105 días. El cambio de color siguió una cinética de reacción de primer orden.



## 6. Materiales y métodos

### 6.1 Acondicionamiento de la fruta

Se utilizó cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) proveniente de cultivo no tecnificados de la vereda La Pedregosa, municipio de Puerto Caicedo (Putumayo, Colombia) (Figura 8), que se encuentra en la zona agroecológica Bosque Húmedo Tropical (Bh-T) con precipitación media anual entre los 3.500 y los 4.000 mm, 80% de humedad relativa, temperatura promedio de 28°C, altura de 230 a 290 msnm y una topografía plana a ligeramente ondulada. Las coordenadas geográficas son Latitud 0,711315, Longitud 76,60396.

Figura 8. Localización geográfica del municipio de Puerto Caicedo.



Fuente: (Gutiérrez et al., 2005).

Se seleccionaron 70 Kg de frutos de cocona morfotipo II con un color naranja marrón característico de una fruta grado de madurez fisiológico 5 (Hernández et al., 2004a). La fruta fue transportada hasta la Universidad Nacional de Colombia – sede Palmira, Valle del Cauca en canastillas plásticas (29 cm de ancho, 39 cm de largo y 23 cm de alto) de aproximadamente 7 kg sin condiciones especiales de transporte. La fruta se lavó y se desinfectó con hipoclorito de sodio a 200 ppm por inmersión de 5 minutos y se secó con toalla absorbente.

La experimentación se realizó en el laboratorio de bioconversiones y en el laboratorio de frutas de la Universidad Nacional – sede Palmira, además en el laboratorio de Control de Calidad del Centro Agropecuario de Buga, y en Tecnoparque Colombia - nodo Cali, SENA Regional Valle del Cauca.

## 6.2 Determinación del potencial agroindustrial de pulpa, epidermis y semillas de cocona

Se utilizaron 40 frutas de  $95,01 \pm 15,93$  g (4 Kg aproximadamente) para realizar la caracterización. La epidermis se retiró de la fruta mediante el uso de un pelador convencional de cocina. La fruta se introdujo en una despulpadora (Black & Decker), de esa forma se obtuvo la pulpa y la semilla. Pulpa, epidermis y semilla fueron pesados en una balanza de precisión (Denver APX-323, USA).

Los porcentajes de rendimiento (R) de pulpa, epidermis y semilla, se calcularon mediante la ecuación 6.

Ecuación 6.

$$R = \frac{P_1}{P_0} \times 100$$

Donde, R es el rendimiento expresado en porcentaje  $P_0$  es el peso promedio de 40 frutos de cocona,  $P_1$  es el peso promedio de pulpa, epidermis o semilla, por separado.

Las muestras de pulpa, epidermis y semilla obtenidas de los 4 Kg de fruta se dividieron en dos lotes, cada lote se pesó en balanza de precisión (Denver APX-323, USA). Un lote se dejó en fresco y el otro lote se secó convectivamente durante  $65^\circ\text{C}$  (Binder Ed 115 - UL, Alemania) por 24 horas. La muestra seca fue molida (Fritsch Germany, 1 mm, 8000 rpm) y se almacenó en bolsa plástica a  $25^\circ\text{C}$  hasta su posterior uso.

Con la muestra seca se determinó en cada uno de los componentes, el porcentaje de materia seca (AOAC (1990), método 934.06), cenizas AOAC (1990), método 942.05) en mufla (Fischer Scientific 550-58, USA), proteína (Método Kejhdaal, AOAC (1990), método 32.1.22), extracto etéreo (AOAC (1990), método 920.39), celulosa, hemicelulosa y lignina

((AOAC (1997), método 973.18), fibra dietaria y digestibilidad in vitro fue determinada en un fermentador ruminal DAISYII (Ankom Technology, New York, USA; Ankom, 2010).

Se determinó el contenido de minerales, fósforo y boro por espectroscopia UV-Vis (Dawson, 1986); potasio, calcio y magnesio, sodio y elementos menores tales como cobre, hierro, zinc y manganeso, por espectroscopía de absorción atómica (Varga & Kolodziej, 1974).

Los resultados anteriores fueron realizado con 2 repeticiones y expresados en porcentaje en base seca y en gramos/100 gramos de fruta entera teniendo en cuenta el rendimiento de cada componente en el fruto.

A partir de las muestras frescas se determinaron propiedades fisicoquímicas como sólidos solubles totales (SST) en °Brix (AOAC (1990), método 932.12) en un refractómetro digital (Reichert AR-200. USA), pH por método potenciómetro (Seven easy, Mettler Toledo Suiza), acidez total titulable (ATT) (AOAC (2000), método 942.15A) expresado en porcentaje de ácido cítrico, y el contenido de ácido ascórbico se determinó con el método reflectométrico (Rqflex 10 plus, Merck, Darmstadt, Alemania) donde el ácido ascórbico reduce el ácido molibdo-fósforico amarillo a azul de fosfomolibdeno que se determinó reflectométricamente en un rango de 25 – 450 mg/L y fue expresado en porcentaje (Ceballos, 2008; Serna-Cock et al., 2011).

Los resultados de las propiedades fisicoquímicas se analizaron mediante ANOVA. Las variables se realizaron por triplicado. Para establecer diferencias significativas entre medias se aplicó la prueba de Tukey con una probabilidad de  $P < 0.05$ . Los datos se analizaron a través del software SAS versión 9.3.

### **6.3 Evaluación del efecto de la inclusión de semillas y epidermis de cocona, en polvos alimentarios de cocona (obtenidos bajo condiciones estandarizadas de liofilización) sobre propiedades fisicoquímicas como contenido de humedad, actividad de agua, contenido de ácido ascórbico, color, solubilidad y rehidratación, actividad de agua, contenido de ácido ascórbico y color**

Se utilizaron 3 kilos de cocona con índice de madurez 5 (Hernández et al., 2004a). Dos partes de la fruta fueron pelados manualmente y se despulparon para obtener pulpa (p), pulpa+semillas (p+s), la tercera parte se rebano en rodajas con epidermis de 5 mm de espesor para obtener pulpa+semillas+epidermis (p+s+c).

En el laboratorio de Control de Calidad del Centro Agropecuario de Buga, SENA, los tres productos descritos fueron liofilizados bajo condiciones estandarizadas, congelación a  $-38\pm 2$  °C durante 60 minutos (EYELA PRF-1110, Japón) y posterior liofilización durante 32 horas, temperatura de  $-45^{\circ}\text{C}$ , presión de  $3,0\pm 0,7$  Pa (EYELA PRF-1000, Japón). Terminada la liofilización, las muestras con actividad de agua por debajo de 0,3, provenientes de los tres tratamientos (p), (p+s) y (p+s+c) se molieron (Fritsch Germany, 1 mm, 8000 rpm) hasta obtener un tamaño de partícula de 50  $\mu\text{m}$  y se almacenaron en bolsas plásticas a 25°C hasta su posterior análisis.

A los polvos alimentarios provenientes de (p), (p+s) y (p+s+c) se les midió contenido de humedad, actividad de agua, concentración de ácido ascórbico y color, Estas mismas variables se midieron además, en los productos frescos (antes de liofilizar).

El contenido de humedad se determinó usando la balanza de humedad (modelo HB43-S Halogen Mettler-Toledo, Suiza). La actividad de agua se midió por el método de punto de rocío (AquaLab, Decagon, Serie 3TE, USA). El contenido de ácido ascórbico se determinó con el método reflectométrico (Rqflex 10 plus, Merck, Darmstadt, Alemania) donde el ácido ascórbico reduce el ácido molibdo-fósforico amarillo a azul de fosfomolibdeno que se determinó reflectométricamente en un rango de 25 – 450 mg/L y

fue expresado en porcentaje (Ceballos, 2008; Serna-Cock et al., 2011). La medición de color se realizó con un colorímetro (Konica Minolta CR-400, Japón), midiendo las coordenadas de color CIELab, L, a\* y b\* (Minolta, Japón), fue calibrado con una placa blanca de valores Y=89.5, x=0.3176, y=0.3347 para un iluminante D65, un observador de 2° en dos lugares extremos de la región ecuatorial. Con estas coordenadas se calculó el tono ( $h_{ab}$ ) (ecuación 7), croma ( $C^*$ ) (ecuación 8) y cambio total de color ( $\Delta E$ ) en fruta fresca y liofilizada (ecuación 9), donde  $L^*_o$ ,  $a^*_o$  y  $b^*_o$  son  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de la muestra fresca y  $L^*_p$ ,  $a^*_p$  y  $b^*_p$  corresponden a los valores de las muestras liofilizadas (Shishegharha et al., 2002).

Ecuación 7.

$$h_{ab} = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right)$$

Ecuación 8.

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

Ecuación 9.

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_o - L^*_p)^2 + (a^*_o - a^*_p)^2 + (b^*_o - b^*_p)^2}$$

A los polvos alimentarios obtenidos de (p), (p+s) y (p+s+c) se le midieron propiedades de solubilidad y capacidad de rehidratación.

Para determinar la solubilidad se utilizó el método de Eastman y Moore (1984), donde se mezcló cuidadosamente 1 g de polvo (base seca) ( $m_1$ ) proveniente de cada uno de los tratamientos, con 100 ml de agua destilada a 30°C. La mezcla fue agitada por 5 minutos. La suspensión fue puesta en un tubo de ensayo de centrífuga y fue centrifugada a 300 rpm durante 5 minutos. Alícuotas de 25 ml del líquido sobrenadante, fueron colocadas en cajas de Petri (previamente pesadas y secas) y posteriormente se metieron destapadas, en horno (Binder, Germany) a 105°C durante 5 horas. Los sólidos recuperados fueron pesados después del secado ( $m_2$ ) y se calculó el porcentaje de solubilidad por diferencia de pesos con la ecuación 10 (Cano et al., 2005).

Ecuación 10.

$$\text{Solubilidad en agua (\%)} = \frac{m_1}{m_2} \times 100$$

La rehidratación de agua en los polvos alimentarios se determinó mediante modificaciones al método de Arriola et al, 2006. Se tomó 1 g de muestra de cada tratamiento y fueron colocados dentro de un filtro de acero inoxidable con base de pvc con tamaño de poro 45 micras (previamente pesado). Para cada tratamiento el filtro fue introducido en un vaso precipitado con 200 ml de agua destilada a 25°C (no fue agitado) inicialmente por 10 minutos. El filtro fue retirado y puesto en una rejilla para drenar el agua, el filtro fue secado con un paño desechable para retirar el exceso de agua de las paredes y luego pesado. El agua ganada fue calculada por diferencia de pesos (Arriola et al., 2006). Adicionalmente, se midió la cinética de rehidratación, para ello se repitió el mismo procedimiento, sometiendo el filtro dentro del vaso de precipitado por 10, 30, 50, 70, 90, 110 min. La rehidratación se calculó por medio de la ecuación 11, y con los datos de rehidratación en función del tiempo se construyó la curva de cinética de rehidratación de agua.

Ecuación 11.

$$\text{Rehidratación} = \frac{\text{contenido de agua absorbida (g)}}{\text{masa de la muestra húmeda (g m. h.)}}$$

En el objetivo 2 se utilizó un diseño unifactorial (componentes en el polvo de cocona liofilizado), con tres niveles: pulpa, (pulpa+semillas) y (pulpa+semillas+epidermis). Las variables de respuesta fueron contenido de humedad, actividad de agua, color, solubilidad y rehidratación. Los resultados se analizaron mediante ANOVA. Los tratamientos se realizaron por triplicado. Para establecer diferencias significativas entre medias se aplicó la prueba de Tukey con una probabilidad de  $P < 0.05$ . Los tratamientos se compararon con pulpa, (pulpa+semillas) y (pulpa+semillas+epidermis) frescos. Los datos de contenido de humedad, actividad de agua, color se analizaron a través del software SAS versión 9.3. Los datos de solubilidad se analizaron con el paquete estadístico Minitab versión 16.4.2.2.

## 6.4 Estimación de vida Útil de cocona en polvo en condiciones aceleradas de almacenamiento

Se utilizaron 63 Kg con los que se elaboraron muestras de 20 g de pulpa (p) al 100%, pulpa+semillas (p+s) en 70,9% y 29,1% respectivamente, pulpa+semillas+epidermis (p+s+c) en 64%, 9,7% y 26,3% respectivamente de cocona en polvo que se obtuvieron por liofilización y molienda (procedimiento descrito en el numeral 7.2). Las muestras fueron empacadas en dos tipos de empaques (Tabla 5), selladas con calor (Jores MFS-450) cuidando de que los empaques no tuvieran fugas.

Las muestras fueron almacenadas en una cámara climática localizada en la ciudad de Cali, Tecnoparque nodo Cali, SENA Regional Valle, con humedad relativa de  $75 \pm 5\%$  y tres temperaturas  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  (25),  $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  (35) y  $45^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  (T45), debido a que la cantidad mínima de temperaturas para realizar un estudio de vida útil son tres (Labuza & Schmidl, 1985; García & Molina, 2008).

Tabla 5. Empaques utilizados para contener cocona en polvo y sus propiedades de transmisión de vapor de agua y oxígeno.

EMPAQUE	CALIBRE	TRANSMISIÓN DE VAPOR DE AGUA ASTM F-1249, 38°C 90% HR (g/m <sup>2</sup> /24hr/atm)	TRANSMISIÓN DE OXÍGENO ASTM D-3985, 23°C 0% HR (cc/m <sup>2</sup> /24hr/atm)
Polipropileno biorientado (BOPP) metalizado, poliamida y capa sellante de polietileno de baja densidad (PEBD) (E1).	120 micras con zipper	0,62	44,2 – 62,0
Polipropileno biorientado (BOPP), poliamida y capa sellante de polietileno de baja densidad (PEBD) (E2)	calibre 120 con zipper	2,8 – 5,5	44,3 – 62,1

FUENTE: fichas técnicas de empaques Alico.

El seguimiento fue realizado por método reverso, donde se procesaron las muestras cada 7 días, se almacenaron en condiciones aceleradas y todos los tratamientos fueron analizados en el día 42 (Tabla 6) (Labuza & Schmidl, 1985).

Tabla 6. Estimación de vida útil en condiciones aceleradas por método reverso

Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35	Día 42
t6	t5	t4	t3	t2	t1	Día de análisis.

Las variables de respuesta fueron contenido de humedad, actividad de agua, luminosidad ( $L^*$ ), diferencia total de color ( $\Delta E$ ) (ecuación 9) y % de solubilidad, las cuales fueron descritas en el ítem 7.2., con las que se construyeron gráficas de cinética durante los 42 días.

Las cinéticas fueron ajustadas a los diferentes modelos cinéticos por método integral y fueron procesados con el paquete estadístico Polymath 6.1. La regresión lineal fue aplicada para orden de reacción que se obtuvieron y se tuvo en cuenta el los coeficientes de correlación ( $R^2$ ) cercano a 1 y error medio bajo. La pendiente fue la constante específica de velocidad ( $k$ ) (Tabla 7) (Saguy & Karel, 1980; Labuza, 1984).

Tabla 7. Transformación lineal para la función de una variable.

Ecuación	Orden de reacción	Pendiente
$C - C_0 = -k_0 t$	0	k
$\frac{\ln C}{C_0} = -k_0 t$	1	k
$\frac{1}{C} - \frac{1}{C_0} = -k_0 t$	2	k
$\ln\left(\frac{C - C_\infty}{C_0 - C_\infty}\right) = -k_0 t$	Seudo 1	k

C es el valor de la variable de respuesta medida en el tiempo t,  $C_0$  es el valor de la variables en el t=0 y k es la constante específica de velocidad.

La variable que demostró un orden de reacción 0 se utilizó para determinar la energía de activación ( $E_a$ ) por medio del comportamiento de la ecuación de Arrhenius (ecuación 12). El tiempo de vida útil fue determinado con la ecuación 13 y el factor  $Q_{10}$  que demuestra el incremento de la velocidad de una reacción de deterioro cuando la temperatura es variada en 10°C (ecuación 14) (Saguy & Karel, 1980; Labuza, 1984).

Ecuación 12.

$$k = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

Ecuación 13.

$$t = \frac{(C - C_0)}{k}$$

Donde: C es el valor crítico del factor para productos deshidratados; C<sub>0</sub> es el valor inicial del factor; k es la constante específica de velocidad.

Ecuación 14.

$$Q_{10} = \exp\left(\frac{10Ea}{R}\right)\left(\frac{1}{T_1}\right)$$

Donde: Ea: es la energía de activación; R es la constante universal de gases (8,31 jul/mol\*K); T<sub>1</sub> es temperatura de referencia (°K).

Para el análisis estadístico del tiempo de vida útil de las muestras (p), (p+s) y (p+s+c) se utilizó un diseño factores 2x3x3. Los resultados se analizaron mediante ANOVA de un modelo general lineal. Los datos fueron analizados con el paquete estadístico Minitab versión 16.4.2.2.

Factores	Niveles
Empaque	BOPP metalizado PEBD (E1) BOPP transparente PEBD (E2)
Temperatura	25°C ± 1°C (25) 35°C ± 1°C (35) 45°C ± 1°C (45)
Muestras	Pulpa (p) Pulpa+semilla (p+s) Pulpa+semilla+epidermis (p+s+c)



## 7.Resultados

### 7.1 Determinación del potencial agroindustrial de pulpa, epidermis y semillas de cocona

Los porcentajes de rendimientos en pulpa, epidermis y semilla fueron de 64%, 26.3% y 9.7%, respectivamente. Los resultados de rendimientos indican que en el proceso de agroindustrialización del fruto de cocona, por cada tonelada de fruta fresca procesada artesanalmente, se obtienen 0.64 toneladas de pulpa, y se generan 0.36 toneladas de residuos, representados en epidermis y semilla. Estos rendimientos son acordes con Pires et al. (2006), quienes indican que la generación de residuos para ésta fruta se encuentra alrededor del 30%.

La concentración de cada componente con respecto a la fruta entera se calculó empleando la ecuación 15 (Serna-Cock & García, 2011). La fruta entera tiene 10.94% de materia seca, y el mayor componente tanto en pulpa, epidermis y semilla corresponde a carbohidratos (Tabla 8). Teniendo en cuenta el rendimiento de cada componente en el fruto en fresco se observa que la epidermis aporta cantidades similares de carbohidratos que la pulpa, y la semilla y la epidermis aportan cantidades similares de proteína.

Ecuación 15.

$$\text{Concentración} = \left( \frac{\% \text{ b. s.} * \% \text{ MS}}{100} \right) * \left( \frac{\% \text{ R}}{100} \right)$$

Donde: MS = materia seca, %R = Porcentaje de rendimiento de pulpa, epidermis o semilla

La pulpa aportó el mayor contenido de cenizas, la epidermis aportó el mayor contenido de carbohidratos, y la semilla aportó el mayor contenido de materia seca, proteína y extracto etéreo.

Si se compara entre cada uno de los componentes, los contenidos de materia seca, cenizas, proteína, extracto etéreo y carbohidratos, se encuentra que en 100 gramos de pulpa se encuentra el mayor contenido que en 100 gramos de semilla o de epidermis. El contenido de proteína en la epidermis es muy similar al de la semilla.

Yuyama et al. (2007), determinaron la composición química de la pulpa de ocho variedades de pulpa de cocona de la región de Manaus (Brasil), y encontraron contenidos de proteína entre 0,4 y 0,7 g base en 100 g de fruta entera y extracto etéreo entre 0,3 y 1,8 g con base en 100 g de fruta entera. Los resultados de este estudio, correspondientes a cocona cosechadas en la región amazónica colombiana, se encuentra en los rangos descritos en el estudio de Yuyama y colaboradores. Sin embargo, los estudios en pulpa de cocona de Pires et al. (2006), reportan valores superiores de proteína, extracto etéreo, cenizas y carbohidratos, a los obtenidos en nuestro estudio. De igual manera, Marx et al. (1998), reportan contenido de materia seca en pulpa de cocona mayor al obtenido en este estudio (9,5%), y Andrade Júnior & Andrade (2012) determinaron que los frutos maduros de cocona tiene mayor contenido de extracto etéreo y proteínas. Los valores reportados de cocona de este estudio son bajos al ser comparados con la literatura, lo cual se debe a que los suelos de la amazonia colombiana son de baja fertilidad (Malagón, 2003) y el cultivo de cocona de este estudio era no tecnificado donde no se realizó plan de fertilización.

Si se compara el contenido de materia seca y de proteína de pulpa de cocona con pulpa de otros frutos amazónicos, se encuentra que cocona tiene 80% mayor contenido de materia seca que el arazá y la misma cantidad de proteína que el copoazú (Rogez et al., 2004). En Açai (*Euterpe oleraceae* Mart.), se encuentran contenido de proteína y extracto etéreo mayores a los encontrados en cocona (Gordon et al., 2012).

La literatura científica no reporta resultados de análisis de composición química en epidermis y semillas de cocona. Sin embargo, al comparar composición química de semillas de lulo (*Solanum quitoense*) es superior en los resultados de cenizas, proteína y carbohidratos de cocona (0,1, 0,5 y 4,1 g/100g de fruta), el contenido de extracto etéreo de lulo es inferior (0,1 g/100g de fruta) (Santacruz, 2004).

Tabla 8. Macronutrientes de cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal)

Análisis	Pulpa %(b.s.)	**Pulpa g/100g de fruta entera	Epidermis % (b.s.)	**Epidermis g/100g de fruta entera	Semilla % (b.s.)	**Semilla g/100g de fruta entera
Materia seca	7.27	4.65	13.41	3.53	23.46	2.28
Cenizas	10.14	0.47	4.80	0.17	3.62	0.08
*Proteína	8.74	0.41	8.38	0.30	15.08	0.34
Extracto etéreo	6.37	0.30	0.97	0.03	11.93	0.27
Carbohidratos	74.75	3.48	85.85	3.03	69.37	1.58

\*Factor de conversión 6,25. \*\* Calculado teniendo en cuenta el rendimiento de cada componente en el fruto.

El contenido en carbohidratos y proteína en epidermis y semilla de cocona indican que estos residuos de la agroindustria artesanal podrían utilizarse como fuente de carbono y nitrógeno en sustratos de fermentación de origen orgánico, ya que es bien conocido que la industria de las fermentaciones utiliza fuentes inorgánicas de nitrógeno en las fermentaciones a escala industrial (Rodríguez & Piñeros, 2009), y esto se ha convertido en una limitante para la producción de productos orgánicos obtenidos por fermentación.

Pires et al. (2006), proponen la utilización de los subproductos del despulpado de cocona en la preparación de dulce, el cual es comercializado en algunas regiones de Brasil.

El potencial agroindustrial de una fruta y la viabilidad económica del fruto depende en parte de su contenido de humedad, considerándose con mayor potencial los materiales con mayor contenido de materia seca (Yuyama et al., 2007), por lo anterior, el contenido en materia seca de la semilla de cocona y su contenido en carbohidratos y proteína, hacen a este residuo ideal para desarrollar productos de valor agregado. Contrariamente, el alto contenido en humedad de la epidermis (86,59%) y de la pulpa (92,73%), hace a estos productos susceptible de alteraciones enzimáticas y microbiológicas (Barreto et al., 2009). Por lo tanto una alternativa para la pulpa y la epidermis de cocona sería la deshidratación, mediante liofilización u otro tipo de secado. Autores como Silva et al. (2010), proponen que la mejor alternativa para la agroindustrialización de productos con alto contenido en humedad es la deshidratación, por su aumento de vida útil y por la reducción de costos en empaque y transporte debido a la disminución de peso.

Nutricionalmente, el componente mayoritario en la composición de cocona son los carbohidratos, siendo la pulpa y la epidermis las partes del fruto que más contenido presentan. Según Yuyama et al. (2007), y Silva et al. (2010), la concentración de carbohidratos está directamente ligada al valor energético del fruto, lo que indica que cocona y sus subproductos podrían emplearse en dietas para personas con sobrepeso, obesidad o con algunas restricciones energéticas. La importancia de los carbohidratos es su porción de la fibra dietaria y la pared celular de la fibra, lo que disminuyen la velocidad de absorción a nivel intestinal del contenido de azúcar de la misma fruta, lo que repercute en una respuesta glicémica más baja, por esto se recomienda aumentar el consumo de fruta para mantener la salud y proteger contra enfermedades como la diabetes, el cáncer y enfermedades cardiovasculares (Durán et al., 2012).

El contenido de minerales en pulpa, cascara y semilla de cocona se muestra en la tabla 9. El análisis de la composición mineral del fruto de cocona indicó que el potasio es el elemento que se encuentran en mayor proporción en los tres componentes del fruto.

Tabla 9. Contenido mineral de cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal)

	Pulpa		Epidermis		Semillas	
	g/100g (b.s.)	mg/100g fruta entera	g/100g (b.s.)	mg/100g fruta entera	g/100g (b.s.)	mg/100g fruta entera
<b>Ca</b>	0,0070	0,3257	0,0060	<b>Ca</b>	0,0070	0,3257
<b>Mg</b>	0,0040	0,1861	0,0040	<b>Mg</b>	0,0040	0,1861
<b>K</b>	0,1150	5,3507	0,0400	<b>K</b>	0,1150	5,3507
<b>P</b>	0,0030	0,1396	0,0010	<b>P</b>	0,0030	0,1396
<b>Na</b>	N.D.	N.D.	N.D.	<b>Na</b>	N.D.	N.D.
<b>Cu</b>	0,0003	0,0140	0,0003	<b>Cu</b>	0,0003	0,0140
<b>Zn</b>	0,0000	0,0001	ND	<b>Zn</b>	0,0000	0,0001
<b>Mn</b>	0,0004	0,0189	0,0004	<b>Mn</b>	0,0004	0,0189
<b>Fe</b>	0,0064	0,2982	0,0022	<b>Fe</b>	0,0064	0,2982
<b>B</b>	0,0017	0,0786	0,0014	<b>B</b>	0,0017	0,0786

N.D. = no detectable. \*\* Calculado teniendo en cuenta el rendimiento de cada componente en el fruto.

El contenido de potasio en cocona se debe a la fertilización y al tipo de suelo de la Amazonía (Silva et al., 2005), sin embargo siendo el potasio el mineral de mayor concentración en este estudio, no alcanza los valores reportados por Pires et al. (2006) y

por Silva et al. (2005), quienes encontraron que el contenido de potasio en frutos de cocona es alto, en comparación con el contenido de hierro, calcio, fósforo, magnesio y zinc, esto se debe a que el cultivo de donde se cosecho la fruta no fue fertilizado. La ingestión de grandes cantidades de potasio protege contra la hipertensión arterial, se recomienda una ingestión mínima de potasio de 2g/día por persona (Miguel & Sarmiento, 2009), por lo cual la ingesta de cocona, que aporta 5,35 mg de potasio/100 g fruta entera, resulta benéfica para la salud, por ende es promisoría para el desarrollo de productos prebióticos.

Dentro de los microelementos, el hierro fue el mineral que se encontró en mayor proporción en los tres componentes del fruto, siendo la semilla la que mayor contenido aportó; de igual manera, la semilla presentó mayor contenido en minerales como Ca, Zn, Mn, y P. En fruta entera la pulpa es el componente que mayor contenido de minerales aportó.

Tabla 10. Comparación del contenido mineral de pulpa de cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) con otros frutos amazónicos reportados por diferentes autores.

Componente	(Yuyama et al., 2007)*	(Pires et al., 2006)*	(Silva et al., 2005)*	(Rogez et al., 2004)**	(Gordon et al., 2012)***
<b>N mg/100g</b>	-	-	239,60	-	-
<b>Ca mg/100g</b>	15,90	13,68	0,01	5,57	42,30
<b>Mg mg/100g</b>	-	17,49	14,05	13,07	17,20
<b>K mg/100g</b>	362,60	359,75	-	34,27	93,00
<b>P mg/100g</b>	-	21,27	-	15,73	18,60
<b>Na µg/100g</b>	123,50	-	239,74	2560,00	6800,00
<b>Cu µg/100g</b>	-	-	-	258,50	-
<b>Zn µg/100g</b>	115,90	0,36	254,43	532,00	210,00
<b>Mn µg/100g</b>	-	-	32,86	21,00	133,00
<b>Fe µg/100g</b>	218,50	198,00	219,77	432,32	780,00

(\*) Pulpa de cocona; (\*\*) Pulpa de copoazú; (\*\*\*) Pulpa de Açaí

Las concentraciones minerales encontradas en los tres componentes indican que esta fruta puede utilizarse dentro de la formulación de complementos dietarios y productos prebióticos, que podrían consumir personas con restricciones de sodio en la dieta.

En la tabla 10 se presenta una comparación de la composición mineral de pulpa de cocona reportada por otros autores. Pires et al., (2006) encontraron en cocona mayores contenidos de Ca, Mg, K y P, en comparación a los reportados en este estudio. Las diferencias encontradas en elementos menores entre nuestro estudio y los de Pires y colaboradores (2006) obedecen a las variabilidad de las condiciones edafoclimáticas (ubicación del cultivo, ciclos de luz solar, clima) (Barreto et al., 2009).

La pulpa de cocona presenta mayores contenidos de Mg, K, y P que el copoazú (*Theobroma grandiflorum*), y contenidos similares de Fe y Mn (Rogez et al., 2004). De igual manera la pulpa de cocona presenta contenido similar de Zn que la pulpa de Açai (*Eugenia Stipitata*) (Gordon et al., 2012).

Tabla 11. Propiedades físico-químicas de los componentes de cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal).

Parámetro	Pulpa	Epidermis	Semillas
Ácido Ascórbico (mg/100 g)	8,48 ± 0,61 <sup>A</sup>	< 2,75 <sup>B</sup>	< 2,81 <sup>B</sup>
pH	3,31 ± 0,01 <sup>C</sup>	4,10 ± 0,02 <sup>D</sup>	5,69 ± 0,15 <sup>E</sup>
Solidos solubles Totales (%)	6,33 ± 0,31 <sup>F</sup>	0,04 ± 0,26 <sup>G</sup>	1,30 ± 0,20 <sup>H</sup>
% Ácido cítrico	2,08 ± 0,04 <sup>I</sup>	0,02 ± 0,01 <sup>J</sup>	0,04 ± 0,01 <sup>J</sup>

Los resultados de pH, solidos totales y ácido ascórbico se presentan en la tabla 11. El contenido de ácido ascórbico fue similar al reportado por Silva et al. (1999) y Hernández et al. (2004b), quienes encontraron valores de 9,85 y 12,82 mg/100 g para pulpa de cocona. El contenido de ácido ascórbico de la pulpa de cocona hace a la fruta útil como ingrediente, para adicionar a formulaciones que necesiten aumentar el contenido de ácido ascórbico. El lulo maduro presentó valores similares a los de cocona (González et al., 2014). Pires et al., (2006) reportaron valores de pH de 4,12, solidos totales de 6.12% y ácido ascórbico de 1,92 mg/100g en pulpa de cocona. El contenido de ácido cítrico se encuentra cercano a los valores reportados por Hernandez & Barrera (2004b) y Paez et al. (2001).

Los resultados de fibra dietaría total, fibra soluble e insoluble, hemicelulosa, celulosa y lignina se presentan en la Tabla 12. La epidermis presentó el contenido más alto de lignina (16,36g/100g) y las semillas presentaron el mayor contenido de celulosa

(30,81g/100g). La semilla y la pulpa aportan la mayor cantidad de fibra dietaria, en cantidades similares. Yuyama et al. (2002), encontraron valores inferiores de fibra dietética total para la pulpa de cocona de 1,68g/100g y de 4,38g/100g para la epidermis. El contenido de fibra dietética es superior en cocona comparado con lo reportado para frutos amazónicos como açai (5,92g/100g) y camu – camu (0,57g/100g).

Tabla 12. Análisis Van Soest y fibra dietaria del fruto de cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) (base seca)

Parámetro	Pulpa g/100g de pulpa	**Pulpa g/100 g de fruta entera	Epidermis g/100g de epidermis	**Epidermi s g/100 g de fruta entera	Semillas g/100g de semilla	**Semilla g/100 g de fruta entera
<b>Celulosa</b>	8.27	0,38	12.58	0,44	30.81	0,70
<b>Hemicelulosa</b>	5.26	0,24	4.04	0,14	21.90	0,50
<b>Lignina</b>	2.41	0,11	16.36	0,58	14.40	0,33
<b>FDT</b>	21.27	13.61	50.15	6.61	68.12	13.19
<b>FDI</b>	17.61	11.27	38.71	5.67	58.42	10.18
<b>FDS</b>	3.66	2.34	11.44	2.97	9.70	0.94

FDT: Fibra dietética total, FDI: fibra dietética insoluble, FDS: fibra dietética soluble. \*\* Calculado teniendo en cuenta el rendimiento de cada componente en el fruto

De igual manera, las epidermis y las semillas de cocona poseen contenido de fibra dietética total significativo al ser comparado con semillas de maracuyá, mango, epidermis de limón persa, semillas y epidermis de uva, entre otras (Tabla 13). El contenido de fibra dietética total en las semillas de cocona es similar al encontrado en semillas de maracuyá (Chau & Huang, 2004) y en epidermis de limón persa (Ubando et al., 2005). Lo anterior refleja que el fruto de cocona incluidos los residuos de la agroindustrialización, pueden ser un complemento importante en la dieta humana, al aportar cantidades importantes de fibra dietaria la cual es de mucho interés desde el punto de vista nutricional. Además cada uno de sus componentes por su contenido en fibra dietaria soluble e insoluble, pueden ser utilizados para la formulación de comprimidos prebióticos benéficos para prevenir el cáncer de colon, en formulaciones adelgazantes, ya que es bien conocida la capacidad que tiene la fibra dietaria (especialmente la soluble) para retener agua, para aumentar la sensación de saciedad y para disminuir el tiempo de absorción de nutrientes (Grigeldo & Martin, 1999; Yuyama et al., 2002) y en formulaciones de origen natural para

prevenir el aumento de colesterol sanguíneo, ya que se ha comprobado la relación entre el consumo de fibra soluble y las disminuciones en la absorción intestinal del colesterol (Ajila et al., 2007).

La digestibilidad in vitro de la epidermis y pulpa de cocona fue de 55,38, y 81,33% respectivamente, demostrando que es un producto fácilmente digerible. La digestibilidad de las semillas fue más baja (27,99%). Los resultados indican que tanto la pulpa como la epidermis de cocona pueden utilizarse como alimento para humanos, y una opción de fácil consumo sería incorporar estos dos compuestos liofilizados y de consistencia crocante en cereales para el desayuno, mejorando de esta forma las cualidades prebióticas del producto nombrado, el cual se considera de consumo masivo a nivel mundial.

Tabla 13. Contenido de fibra dietética total e insoluble de otros frutos.

Fruta	Chau & Huang, 2004	Silva et al., 2010	Ajila et al., 2007	Ubando et al., 2005	Rogez et al., 2004	
	Maracuyá	Cocona	Mango	Limón Persa	Copoazú	Arazá
Componente	Semillas	Harina	Pulpa	Epidermis	Pulpa	Pulpa
Fibra dietética total %	64,8±0,05	39,24	44,70	66,70	14,30	39
Fibra insoluble	64,1±0,02	25,94	28,99	-	-	-

La transformación de semillas de cocona en harina de cocona a través de secado y molienda, podría considerarse como un producto prebiótico, y sería una opción saludable para formulaciones de consumo humano, ya que la fracción que no es absorbida por el intestino humano, aumentaría el bolo fecal, con el consiguiente arrastre de toxinas (Yuyama et al., 2002).

La conversión microbiana de residuos lignocelulósicos de epidermis y semillas de cocona, podría ser otra alternativa prometedora para producir alimentos más digeribles para alimentación humana o animal.

## 7.2 Evaluación del efecto de la inclusión de semillas y epidermis de cocona, en polvos alimentarios de cocona (obtenidos bajo condiciones estandarizadas de liofilización) sobre propiedades fisicoquímicas como contenido de humedad, actividad de agua, contenido de ácido ascórbico, color, solubilidad y rehidratación

El contenido de humedad de los tratamientos frescos variaron desde 89,473% hasta 92,427% (Tabla 14), datos acorde a lo obtenido en la literatura (Pires et al., 2006; Yuyama et al., 2007; Stefanello et al., 2010). En los tratamientos de cocona en polvo, el ANOVA mostró que no existen diferencia significativa entre los valores de contenido de humedad de la (p), (p+s) y (p+s+c) frescas ( $p > 0,05$ ). Sin embargo, la liofilización tuvo un efecto significativo en el contenido de humedad.

Tabla 14. Contenido de humedad de pulpa, pulpa+semillas y (pulpa+semillas+epidermis) de cocona fresca, y de polvos obtenidos por liofilización. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre los valores.

Muestras	Fresco	Polvos
Pulpa	92,427 ± 1,868 <sup>A</sup>	4,240 ± 0,418 <sup>B</sup>
Pulpa+semillas	91,377 ± 0,697 <sup>A</sup>	3,547 ± 0,492 <sup>B</sup>
(pulpa+semillas+epidermis)	89,473 ± 0,415 <sup>A</sup>	2,993 ± 0,405 <sup>B</sup>

Los polvos obtenidos por liofilización corresponden a productos deshidratados según su actividad de agua, ya que fueron valores inferiores a 0,283. La estabilidad de un producto se puede alcanzar cuando la  $a_w$  se encuentra entre 0,2 y 0,4, que corresponde a la humedad de la monocapa y se logra la conservación en condiciones ambientales (Martinez et al., 1998), ya que limitan el crecimiento de microorganismos y las reacciones oxidativas, hidrolíticas y enzimáticas, alargando la vida útil del producto (Ayala et al., 2010b), también el contenido de ácido ascórbico fija o elimina el oxígeno, disminuyendo las reacciones oxidativas (Gutiérrez et al., 2007). No hubo diferencia significativa entre los valores de  $a_w$  de los tratamientos liofilizados ( $p > 0,05$ ) y hay efecto significativo de la liofilización sobre  $a_w$  (Tabla 15).

El contenido de ácido ascórbico en los tratamientos frescos fue similar a los valores reportados por la literatura de cocona (Silva et al., 1999; Hernandez & Barrera, 2004b). El mayor contenido obtenido fue en (pulpa+semillas+epidermis), esto se debe al tejido intacto cuando se preparó la muestra, que en este caso fueron rodajas de cocona, lo cual proporciona un efecto de protección al ácido ascórbico (Santos & Silva, 2008), la literatura reporta que la epidermis de cocona tiene mayor capacidad antioxidante (Nascimento & Pereira, 2011). Cocona entera tiene contenidos de ácido ascórbico similares a los del tomate de árbol ( $16,09 \pm 1,6$  mg ácido ascórbico/100 g muestra) (Repo & Encina, 2008) (tabla 15).

Tabla 15. Actividad de agua y ácido ascórbico de pulpa, pulpa+semillas y (pulpa+semillas+epidermis) de cocona fresca, y de polvos obtenidos por liofilización. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre los valores de  $a_w$ . Letras minúsculas indican diferencias significativas entre los valores de ácido ascórbico.

Muestras	$a_w$ Fresco	$a_w$ Polvos	Acido ascórbico (mg/100 g de producto fresco)	Acido ascórbico (mg/100 g de producto liofilizado)
<b>Pulpa</b>	$0,873 \pm 0,003^A$	$0,284 \pm 0,006^B$	8.48 <sup>a</sup>	8.08 <sup>b</sup>
<b>Pulpa+semillas</b>	$0,873 \pm 0,002^A$	$0,206 \pm 0,038^B$	7.51 <sup>b</sup>	6.38 <sup>c</sup>
<b>(pulpa+semillas+epidermis)</b>	$0,877 \pm 0,004^A$	$0,252 \pm 0,034^B$	12.28 <sup>e</sup>	5.50 <sup>d</sup>

La retención del ácido ascórbico en polvos de cocona obtenidos por liofilización fueron de 87,5%, 85% para (p) y (p+s) respectivamente. Los porcentajes de retención de ácido ascórbico en (p) y (p+s) se encontraron dentro de lo reportado. Para (p+s+c) la retención fue la más baja (44,8%), esto se explicó por las pérdidas sufridas durante la preparación soluciones, donde se realizaron las mediciones, se presentó coloración desde rojiza característica de la epidermis a coloración marrón, característica de la oxidación del ácido ascórbico (Turcios & Gordón, 2012).

Estudios informan que la liofilización puede retener la cantidad de ácido ascórbico gracias a que el tratamiento se realiza con bajas temperaturas, obteniendo el mínimo deterioro de esta vitamina hidrosoluble (Shofian et al., 2011) y los porcentajes de

degradación de ácido ascórbico en pulpa y pulpa+semillas se encuentran dentro de los reportados (Marques et al., 2006). Sin embargo, la presencia de epidermis en la muestra pulpa+semillas+epidermis señaló una mayor pérdida de ácido ascórbico debido a su inestabilidad en soluciones acuosas aisladas (Gutiérrez et al., 2007), las cuales fueron utilizadas en las diluciones para realizar las medición. Por consiguiente la muestra pulpa+semillas+epidermis debería ser utilizada en polvo, para evitar la degradación del ácido ascórbico.

La tabla 16 muestra que los valores de  $L^*$  de polvos de cocona liofilizada fueron valores cercanos a 100 (blanco), superiores a los de cocona fresca, esto mostró polvos más claros, lo cual se consideró como indicador de aceptabilidad en el mercado (Ceballos et al., 2012). Para disminuir el pardeamiento enzimático, desde la adecuación de la fruta, se logró mantener la fruta a bajas temperaturas hasta llegar a refrigeración, posteriormente fue almacenada en congelación y deshidratadas por liofilización a  $-38^{\circ}\text{C}$  y  $-45^{\circ}\text{C}$  al vacío ( $3,0\pm 0,7$  Pa), lo que permitió inactivación enzimática de la polifenoloxidasas (Andrade et al., 2010) y peroxidasa (Paiva, 2006), respectivamente. Según Shishegarha et al (2002) con el proceso de liofilización, no solo se mantiene el color, sino que se mejora desde un color amarillo suave, hasta un amarillo muy claro, lo cual fue observado en las muestras que fueron estudiadas.

Tabla 16. Atributos de color de pulpa, pulpa+semillas y (pulpa+semillas+epidermis) de cocona fresca, y de polvos obtenidos por liofilización. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre los valores de  $L^*$  y  $\Delta E^*$ . Letras minúsculas indican diferencias significativas entre los valores de tono ( $h_{ab}$ ) y croma ( $C^*$ ).

Muestras	$L^*$	$h_{ab}(^{\circ})$	$C^*$	$\Delta E^*$
<b>Pulpa fresca</b>	$40,707 \pm 0,357^A$	$0,766^a$	$4,652^e$	
<b>Polvo de pulpa liofilizada</b>	$78,410 \pm 0,046^B$	$1,471^c$	$31,423^h$	$46,990 \pm 0,301^C$
<b>Pulpa+semillas fresca</b>	$39,833 \pm 0,341^A$	$0,760^a$	$4,736^e$	
<b>Polvo de pulpa+semillas liofilizada</b>	$84,240 \pm 0,654^B$	$1,566^d$	$28,150^g$	$51,013 \pm 0,720^D$
<b>(pulpa+semillas+epidermis) fresca</b>	$40,237 \pm 0,255^A$	$0,860^b$	$6,361^f$	
<b>Polvo de (pulpa+semillas+epidermis) liofilizadas</b>	$82,147 \pm 0,622^B$	$1,560^d$	$33,622^i$	$50,994 \pm 0,870^D$

Entre tratamientos frescos y entre polvos presentaron diferencias estadísticamente significativas en los valores de  $L^*$ . En referencia a tono ( $h_{ab}$ ), entre los tratamientos no se evidenciaron diferencias significativas, lo cual indica que se conservó el color natural de cocona. Croma ( $C^*$ ) presentó incremento significativo ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos

en polvo respecto a los tratamientos en fresco, el resultado indica que los polvos obtenidos por liofilización presentaron mayor viveza y concentración del pigmento característico de cocona. Con respecto al  $\Delta E^*$  se evidenció que todos los tratamientos en polvo se incrementaron significativamente ( $p < 0,05$ ) con respecto al fresco, sin embargo, entre los tratamientos las diferencias no fueron significativas.

Tabla 17. Solubilidad de pulpa, pulpa+semillas y (pulpa+semillas+epidermis) de cocona en polvos obtenidos por liofilización.

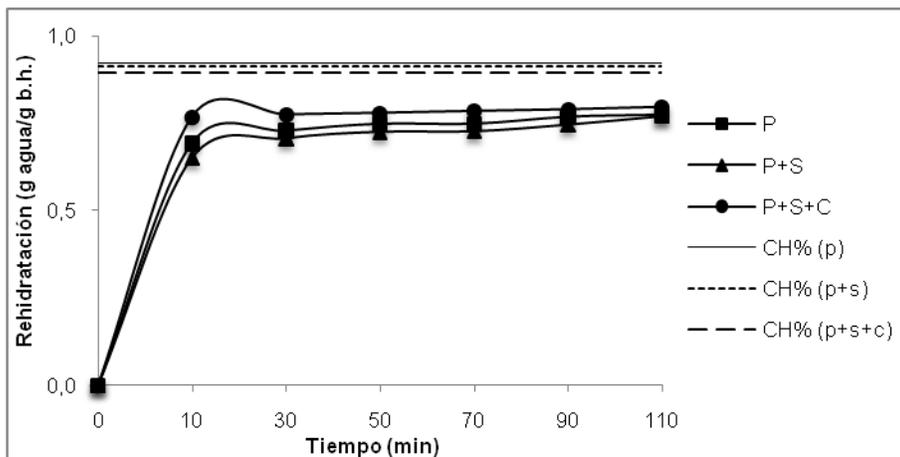
Muestras	Solubilidad (%)
Polvo de Pulpa liofilizada	24,89 <sup>A</sup>
Polvo de Pulpa+semillas liofilizada	21,81 <sup>B</sup>
Polvo de (pulpa+semillas+epidermis) liofilizadas	21,76 <sup>B</sup>

La solubilidad de (p), (p+s) y (p+s+c) (Tabla 17) fue baja, considerando que la literatura muestra solubilidad en cocona de 84,33%, (Natividad & Cáceres, 2013) y en otras frutas como la guanábana liofilizada fue de 81.5% y 85.8% (Ceballos, 2008). Esto se debió a que en el momento de sumergir las muestras liofilizadas en agua, mostraron una elevada tensión superficial, lo cual no dejó que las partículas se mojen con facilidad. La baja solubilidad comprometió la composición química, ya que la pulpa de cocona a pesar de ser una fruta con alto contenido de carbohidratos, posee almidón, los cuales son compuestos no solubles. De igual manera pulpa+semillas y (pulpa+semillas+epidermis) produjeron sedimento de almidón, y aunque el granulo tenia un tamaño de 50  $\mu\text{m}$ , no fue soluble. Además, la fibra (celulosa, hemicelulosa, lignina y pectinas) que se presentó en la semilla y en la epidermis, son insolubles en agua, y el almidón es insoluble en agua fría, debido a que tiene una estructura muy organizada y presenta buena estabilidad por las múltiples interacciones que existen con sus dos polisacáridos constituyentes (Badui Dergal, 2006).

La humedad de cocona en polvo (Figura 9) alcanzó en 10 minutos, 76,83% para (p+s+c), 69,45% para (p) y 65,16% para (p+s) lo cual indica alta rehidratabilidad teniendo en cuenta que los contenidos de (p+s+c) fresco fue de 89,47%, de (p+s) fue de 91,37% y el contenido de humedad de (p) fue de 92,43%. No se encontró diferencia significativa ( $p$ -valor  $< 0,05$ ) en la capacidad de rehidratación de los tratamientos. Los resultados fueron acordes a la literatura dónde se indica que la rehidratación en los productos liofilizados sucede rápidamente (Grajales et al., 2005). La rehidratación de los tratamientos aumentó

y logró llegar a 77,53, 77,03 y 79,66 % para (p), (p+s) y (p+s+c) respectivamente a los 110 min, esto se debió a que en la liofilización se empleó bajas temperaturas, los daños térmicos fueron menores y los grupos hidrófilos que retienen agua se ven poco afectados, por lo tanto pueden retener nuevamente el agua (Badui Dergal, 2006). Al respecto varios autores indicaron que la liofilización es un método de deshidratación que logra obtener mayores resultados en rehidratación al ser comparados con otros métodos como osmodeshidratación y secado convencional (Jambrak et al., 2007; Agnieszka & Andrzej, 2010).

Figura 9. Cinética de rehidratación de pulpa (p), pulpa+semillas (p+s) y pulpa+semillas+epidermis (p+s+c) de cocona en polvos obtenidos por liofilización.



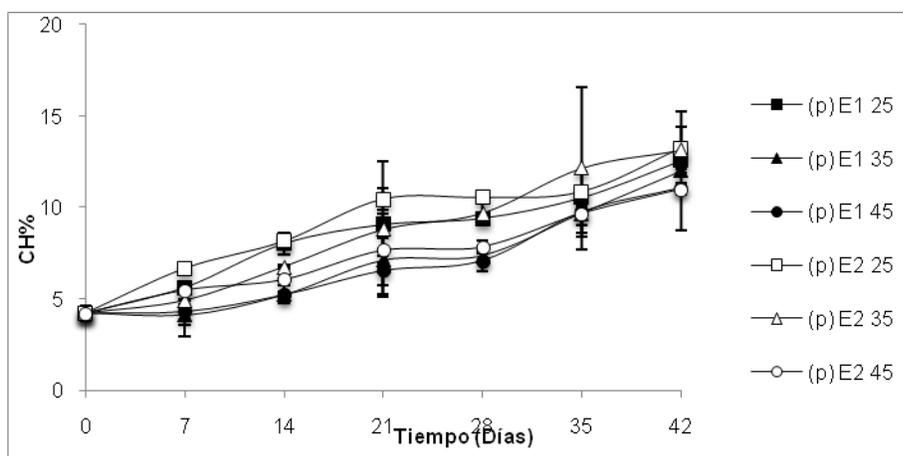
## 7.3 Estimación de vida útil de cocona en polvo en condiciones aceleradas de almacenamiento

### 7.3.1 Pulpa de cocona en polvo

#### ▪ Cinética de contenido de humedad (CH%)

El contenido de humedad (CH%) de (p) E2 25, incrementó notable desde 4,24% de humedad inicial hasta 13,26% (figura 10). Comportamiento similar tuvo el café soluble en polvo seco por aspersion almacenado en papel laminado y cartón durante 150 días y 25, 30, 35 y 40°C a 90% H.R. (Ocampo, 2003). En el estudio de vida útil de mango en polvo empacado en bolsas de aluminio laminado almacenadas a 38°C y 90% H.R. CH% tuvo el mismo comportamiento (Jaya & Das, 2005). En la estimación de vida útil para la fruta yaca en polvo empacada en BOPP almacenada a 28°C y 38°C a 75% H.R. se presentó un incremento de CH% similar (Pua et al., 2008).

Figura 10. Variación del contenido de humedad (CH%) de pulpa (p) en polvo empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C.



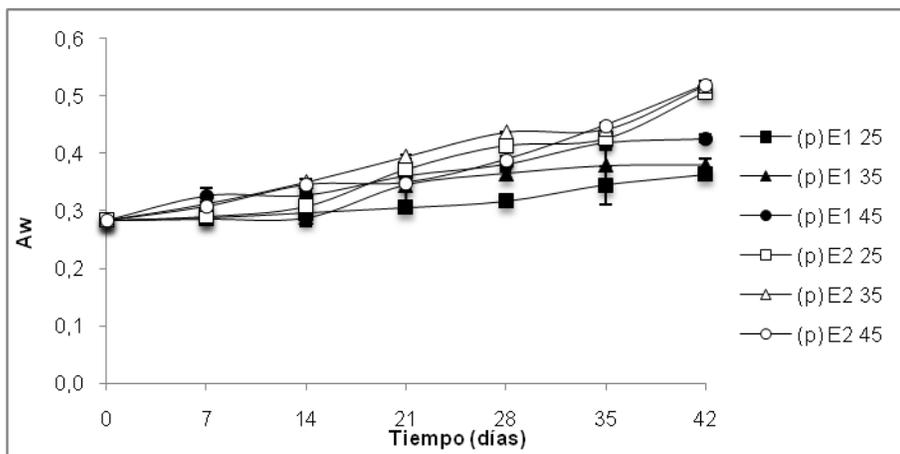
Se observó aumento de contenido de humedad constante en las muestras a medida que aumentan los días de almacenamiento y aumenta la temperatura, lo que se explicó mediante el análisis de medias de mínimos cuadrados, que hubo diferencia significativa

entre las muestras empacadas en E1 y E2, lo cual responde a que la transferencia de vapor de E2 es superior a la de E1 e influyó la humedad relativa de 75% en las muestra. También existe una relación entre el CH% y el pardeamiento de la muestra.

#### ▪ Cinética de actividad de agua ( $a_w$ )

Durante la cinética, se observó que la actividad de agua ( $a_w$ ) aumentó para las muestras (p) empacadas en E2, llegando a valores de  $a_w$  de 0,507, 0,519 y 0,520 para la 25°C, 35°C y 45°C respectivamente, siendo valores superiores a los que se obtuvieron en (p) E1 desde el día 21, y muy visible en el día 42 (figura 11). El aumento de la  $a_w$  también se pudo observar en el análisis de vida útil de mango en polvo empacado en bolsas de aluminio y almacenadas a 38°C y 90 H.R.% (Jaya & Das, 2005).

Figura 11. Variación de actividad de agua ( $a_w$ ) de pulpa (p) en polvo empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C.



A partir del día 28, las muestras empacadas en E2 sobrepasaron 0,4 de actividad de agua, debido a la transferencia de vapor de agua que tiene el empaque E2. Después de  $a_w=0,4$  las muestras iniciaron reacciones de pardeamiento, lo cual se puede observar en la figura 12 de la cinética de luminosidad. Estos cambios disminuyen la calidad de las características organolépticas que puede buscar un consumidor (Van Boekel, 2008). Se pudo determinar que no hubo diferencia significativa entre los empaques E2 almacenados a 25°C y 45°C, sin embargo en la gráfica se pudo observar que E2 a 25°C, 35°C y 45°C se encuentra en el día 42 en un resultado de  $a_w$  similar y desde el día 21 se

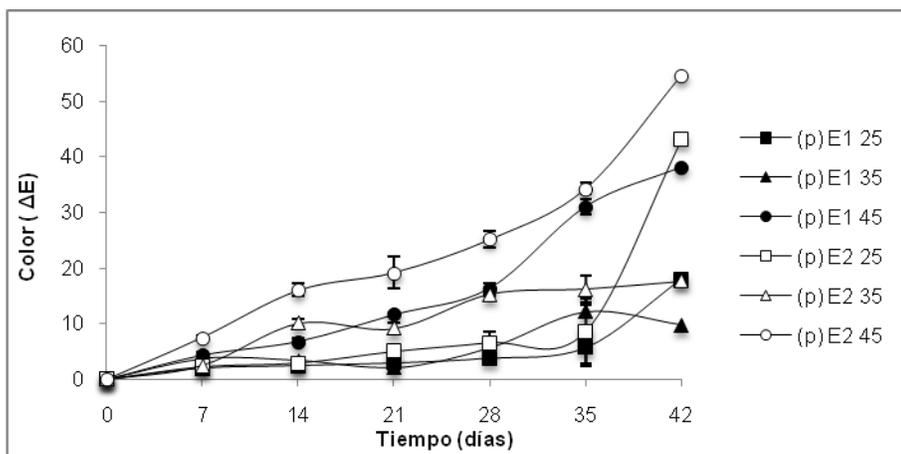


También se observó pardeamiento por temperatura en la pitahaya empacada en poliamida y polietileno que fueron almacenadas a 35°C, 45°C y 55°C y 80% H.R., este estudio mostró que a medida que aumenta la temperatura, se obtiene mayor oscurecimientos de las muestras (Caicedo, 2010).

▪ **Cinética del cambio de color total ( $\Delta E$ )**

En la figura 13 se puede observar que hasta el día 7 no se presentaron diferencias significativa entre los tratamientos y empaques, sin embargo a partir del día 7 se observaron diferencias significativas en el comportamiento de E1 y E2 a 45°C, donde el empaque E2 influyó en el aumento de  $\Delta E$  debido a la alta temperatura de almacenamiento, el aumento de  $a_w$  y el pardeamiento (disminución de  $L^*$ ). El comportamiento de  $\Delta E$  fue estable para E1 a 25°C y 35°C. Por lo anterior se puede indicar que E1 es un empaque con baja transferencia de vapor de agua, lo cual limita las reacciones químicas que puede cambiar el color del producto (Badui Dergal, 2006) ocasionando mala apariencia para el consumidor (Van Boekel, 2008). Sin embargo el empaque E2 tiene mayor transferencia de vapor de agua, por esta razón el cambio de color es mayor y los acompaña la muestra E1 a 45°C, porque la temperatura acelera la reacción de pardeamiento (Badui Dergal, 2006; Van Boekel, 2008).

Figura 13. Variación de color  $\Delta E$  de pulpa (p) en polvo empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C.



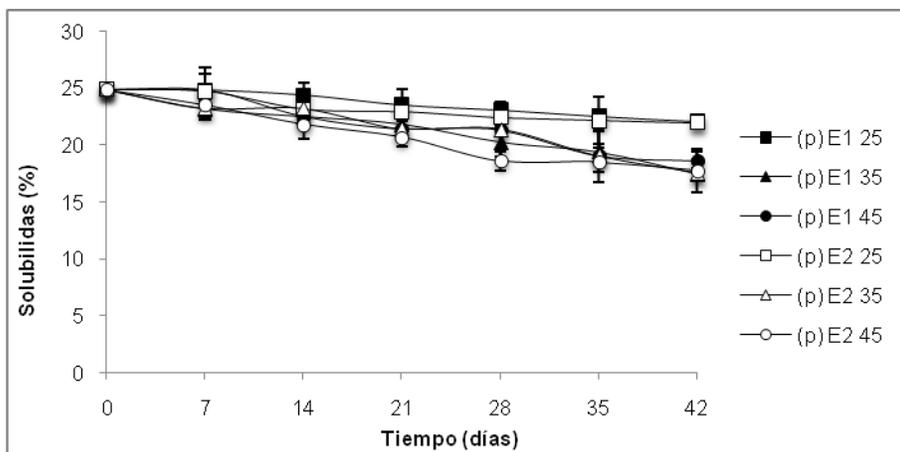
En el almacenamiento de la fruta yaca en polvo se mostró un comportamiento similar, ya que en el empaque BOPP y a la mayor temperatura de almacenamiento 38°C, la diferencia de color fue mayor que el producto que se encontraba a 28°C (Pua et al., 2008).

#### ▪ **Cinética de la solubilidad**

La solubilidad de (p) (figura 14) fue más estable en las muestras almacenadas a 25°C empacadas en E1 y E2, perdiendo el 2,78 y 2,90% de solubilidad respectivamente, y fueron las muestras con menor pérdida. El valor fue representativo teniendo en cuenta que el valor inicial fue de 24,89%. La solubilidad es una propiedad de los productos en polvo que se ve afectada por el aumento del contenido de humedad (Goula & Adamopoulos, 2005), por esta razón se observó disminución de solubilidad homogénea, al ser comparada con el aumento del contenido de humedad que tuvo (p), donde también se observó cambio de solubilidad a partir del día 21.

Los resultados de solubilidad de (p) fueron similares a los obtenidos en el estudio del tomate en polvo (17,65 - 26,73%) (de Sousa et al., 2008). En el estudio de vida útil del maracuyá en polvo almacenado a 25°C, disminuyó la solubilidad durante los 360 días de almacenamiento, debido al aumento de la humedad de las muestras que no fue suficiente para cambiar la higroscopicidad sino para promover la cristalización del azúcar (Costa et al., 2013).

Figura 14. Variación de solubilidad de pulpa (p) en polvo empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C.



Mediante el análisis de medias de mínimos cuadrados se pudo determinar que no hay diferencia significativa entre los tratamientos (p) E1 25 y PE2 25, (p) E1 35 y (p) E2 35, sin embargo, para (p) E1 45 y (p) E2 45 si tuvieron diferencia significativa ( $p$ -valor $<0,05$ ) en el día 28 (figura 14).

#### ▪ Orden de reacción.

Se realizó el método integral a las cinéticas de variación (anexo A) donde se obtuvo el orden de reacción de las cinéticas de actividad de agua, contenido de humedad, luminosidad, cambio de color total y solubilidad, teniendo en cuenta el coeficiente de regresión lineal  $R^2$  cercano a 1 y RMSD por debajo de  $3,74 \times 10^{-17}$  (tabla 18). La cinética de actividad de agua ( $a_w$ ) presentó orden de reacción 0. En el tratamiento (p), la variable contenido de humedad también presentó orden de reacción 0, sin embargo la cinética de actividad de agua se utilizó para determinar vida útil porque esta se refiere a la predicción de la estabilidad de los alimentos, en consecuencia primó más la actividad de agua sobre la humedad (Díaz, 2010).

Se puede suponer que el cambio de color total corresponde a reacción no enzimática (orden de reacción 0) y destrucción de pigmentos naturales (orden de reacción 1), sin embargo los alimentos empiezan a ser inaceptables con sólo un 20-30% del cambio del valor inicial (Labuza & Schmidl, 1985). La cinética de diferencia de color total ( $\Delta E$ ) no obedeció a un orden de reacción 0 seguida de 1, razón por la cual se procedió a normalizar la variable, la cual se limitó al 10% y se utilizó la ecuación para reacción pseudo orden 1 donde el valor de  $C_\infty=10\%$  (tabla 7).

Se observó que los valores de las constantes de velocidad aumentaron con la temperatura de tratamiento, por consiguiente el aumento de la temperatura implicó un aumento mayor en todas las cinéticas.

En las muestras empacadas en E1 se observó una disminución de orden de reacción en la cinética de solubilidad, lo cual se debió al aumento de temperatura de almacenamiento, que generó un movimiento molecular y aumentó la velocidad específica de reacción (Izquierdo, 2004).

Tabla 18. Orden de reacción y constante específica de velocidad (k) para las cinéticas de actividad de agua, contenido de humedad, luminosidad  $L^*$ , cambio de color total y solubilidad de pulpa (p) de cocona en polvo empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C.

Variable	Tipo de empaque	Temperatura (°C)	Orden de reacción	Constante de velocidad (k)	R <sup>2</sup>	RMSD
Actividad de agua	E1	25	n = 0	0,0019	0,9243	0,0029
		35		0,0028	0,8980	0,0051
		45		0,0034	0,9725	0,0031
	E2	25	n = 0	0,0053	0,9453	0,0068
		35		0,0054	0,9762	0,0044
		45		0,0057	0,9216	0,0081
Contenido de humedad	E1	25	n = 0	0,1850	0,9647	0,1872
		35		0,1863	0,9306	0,2693
		45		0,1957	0,9615	0,1909
	E2	25	n = 0	0,1930	0,9339	0,2717
		35		0,2252	0,9866	0,1391
		45		0,2557	0,9780	0,1236
Luminosidad (L*)	E1	25	n = 1	0,0017	0,8870	0,0032
		35		0,0021	0,9077	0,0035
		45		0,0127	0,8994	0,0225
	E2	25	n = 1	0,0031	0,9321	0,0044
		35		0,0059	0,9492	0,0072
		45		0,0194	0,8958	0,0350
Cambio de color total ( $\Delta E$ )	E1	25	Seudo orden 1	0,0208	0,9043	0,0331
		35		0,0682	0,7111	0,2449
		45		0,0800	1,0000	0,0002
	E2	25	Seudo orden 1	0,0506	0,8899	0,0869
		35		0,1922	0,9481	0,1417
		45		0,1927	1,0000	3,74E-17
Solubilidad	E1	25	n = 2	0,0001	0,9707	0,0001
		35	n = 2	0,0004	0,9499	0,0005
		45	n = 1	0,0074	0,9555	0,0085
	E2	25	n = 1	0,0032	0,9110	0,0052
		35		0,0077	0,9354	0,0107
		45		0,0084	0,9689	0,0079

▪ Factores k, Ea y Q<sub>10</sub> para actividad de agua (a<sub>w</sub>).

Las constantes específicas de velocidad (k (a<sub>w</sub>) (días<sup>-1</sup>) para la cinética de actividad de agua (tabla 18) en los empaques E1 y E2 mostraron aumento a medida que aumentó la temperatura de almacenamiento, debido a que la temperatura aceleró las reacciones. También se observó aumento al cambiar del empaque E1 con baja transferencia de vapor (0,62 g/m<sup>2</sup>/24h/atm) a empaque E2 con transferencia de vapor de agua mayor (2,8-55 g/m<sup>2</sup>/24h/atm) (tabla 5) y el vapor de agua disponible en la cámara climática pasó por el empaque hacia la superficie de la muestra, que aumentó el agua disponible para el desarrollo de reacciones y microorganismos (Torres et al., 2008).

Figura 15. Comportamiento de la ecuación de Arrhenius para actividad de agua (a<sub>w</sub>) de pulpa (p) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente).

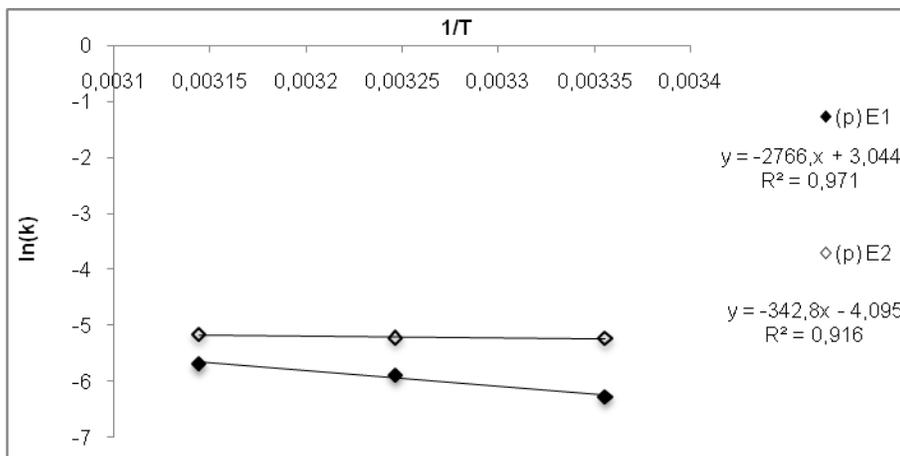


Tabla 19. Energía de activación (Ea) y factor Q<sub>10</sub> de pulpa (p) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) almacenada a 25°, 35°C y 45°C.

Tipos de empaque	Ea (Kj/mol)	R <sup>2</sup>	RMSD	Q <sub>10</sub> (a <sub>w</sub> )		
				25°C	35°C	45°C
E1	22,99	0,9709823	0,0237924	1,37	1,34	1,31
E2	2,85	0,9169129	0,0051344	1,04	1,04	1,03

Para cuantificar el efecto de la temperatura sobre el deterioro, se aplicó la ecuación de Arrhenius (ecuación 12) a la variación en las constante específica de velocidad con la temperatura absoluta. La cinética de a<sub>w</sub> en (p) respondió al comportamiento de la

ecuación de Arrhenius (figura 15) debido a que su  $R^2$  fue cercano a 1. Con la gráfica de la ecuación se observó que E2 fue constante en el almacenamiento cuando fue expuesto a diferentes temperaturas.

La pendiente correspondió a la relación  $m=-E_a/R$  ( $R= 8,31 \text{ j/mol}\cdot\text{K}$ ), con lo que se halló  $E_a$  y con la ecuación 14 se determinó el factor  $Q_{10}$  para las temperatura empleadas 25°C, 35°C y 45°C (Tabla 19). La energía de activación es un valor específico para cada producto y cambió con el tipo de empaque E1 y E2, sí la energía que se requiere para dar lugar a la reacción de deterioro sobrepasa la energía de activación de (p), entonces efectivamente se inicia el deterioro en el producto (Labuza & Schmidl, 1985), por consiguiente con (p) empacado en E2 se necesitó menor energía para el inicio del deterioro que (p) empacado en E1, sin embargo (p) E2 fue más estable al cambio de temperatura de almacenamiento (figura 15).

El factor  $Q_{10}$  fue mayor para las muestras empacadas en E1 que en E2, debido a que al multiplicar la velocidad específica de reacción con el factor  $Q_{10}$ , el deterioro será mayor al aumentar la temperatura en 10°C, debido a que a medida que se aumenta la temperatura el empaque dilata los poros y permite mayor transferencia de vapor de agua. El factor  $Q_{10}$  para el empaque E1 fue similar en todas las temperaturas porque este empaque ya tiene una alta transferencia de vapor de agua que sería muy poco probable que cambie con el aumento de la temperatura (Montaña, 2013).

▪ **Tiempo de vida útil para pulpa (p) de cocona en polvo.**

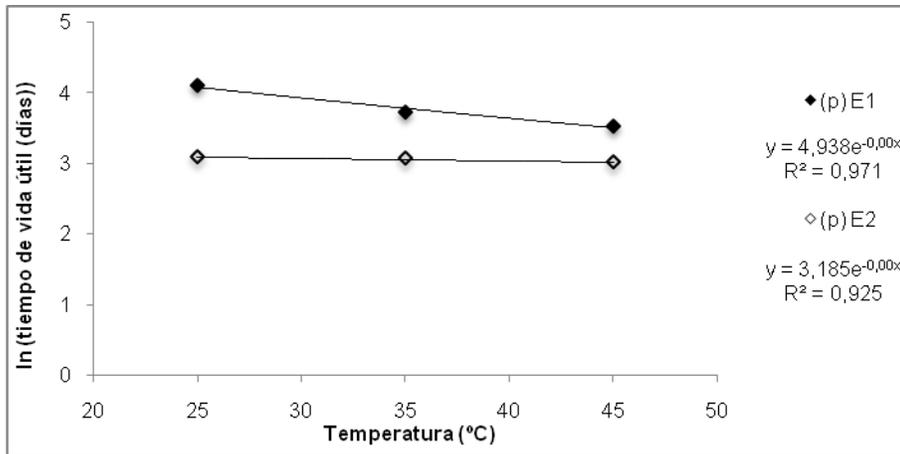
Tabla 20. Tiempo de vida útil (días) de pulpa (p) que se empacó en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) limitado por el atributo actividad de agua que tuvo cinética de orden cero.

Empaque	Tiempo de vida útil (días)		
	25°C	35°C	45°C
E1	61,05	41,43	34,12
E2	21,89	21,48	20,35

Se consideró 0,4 como la actividad de agua crítica para productos deshidratados (Martinez et al., 1998; Badui Dergal, 2006). La actividad de agua inicial de (p) fue de 0,284. Se estimó el tiempo de vida útil mediante la ecuación 13 (tabla 20) teniendo

previamente el valor de la constante específica de velocidad,  $k$  ( $\text{días}^{-1}$ ) y se observó el comportamiento de los resultados (Figura 16).

Figura 16. Ln de tiempo de vida útil (días) vs temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) de pulpa (p) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) limitado por el factor actividad de agua ( $a_w$ ) con orden de reacción 0.



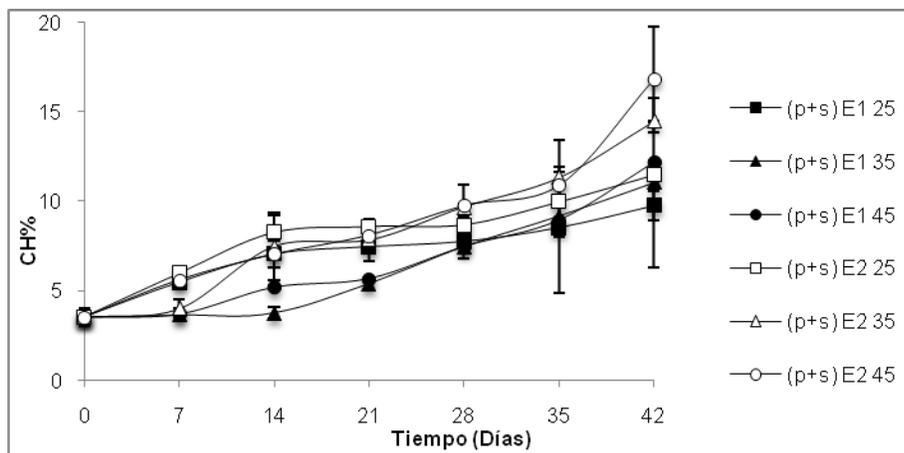
La (p) de cocona en polvo con mayor vida útil fueron las empacados en E1, sin embargo como se almacenaron a diferentes temperaturas ( $25^{\circ}$ ,  $35^{\circ}\text{C}$  y  $45^{\circ}\text{C}$ ), disminuyó su estabilidad. Para las muestras en E2, la vida útil fue 3 veces más corta a  $25^{\circ}\text{C}$  que E1, sin embargo los días se vida útil se mantuvieron cuando se almacenaron a diferentes temperaturas.

### 7.3.2 Pulpa+semillas de cocona en polvo

#### ▪ Cinética de contenido de humedad (CH%)

Los mayores valores de CH% se observaron en (p+s) E1 45 y (p+s) E2 45 durante el almacenamiento, que fueron 12,21% y 16,86%, respectivamente, ya que la temperatura aceleró las reacciones de pardeamiento no enzimático, esto implica reacciones de los compuestos carbonilos, llegando a la hidrólisis del almidón, generando agua (Fennema, 1993). Los pares de tratamientos E1 y E2 almacenados en la misma temperatura mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con el análisis de mínimos cuadrados, ya que las muestras tuvieron un comportamiento diferente a partir de los días 14, 7 y 7 para el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C, respectivamente. (p+s) que se empacó en E2 siempre tuvieron mayor contenido de humedad durante el almacenamiento que las que se empacaron en E1, ya que la transferencia de vapor de E2 es superior a las de E1 (figura 17).

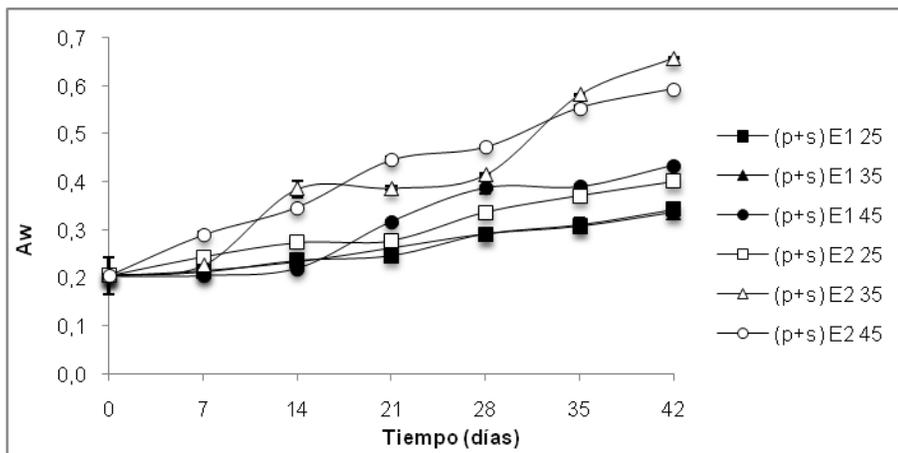
Figura 17. Variación del contenido de humedad pulpa+semillas (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C.



### ▪ Cinética de actividad de agua ( $a_w$ )

En la cinética de  $a_w$  se pudo observar que los valores mas altos se encontraron en (p+s) E2 35 y (p+s) E2 45. Los valores de  $a_w$  mas bajos se encontraron en (p+s) E1 25 y (p+s) E1 35, por la baja transferencia de vapor de agua del empaque y la temperatura alta aumentó la formación de pardeamiento donde dio paso al aumento de  $a_w$  (figura 18). Mediante el análisis de medias de mínimos cuadrados se pudo determinar que hay diferencia significativa entre los tratamientos (p+s) E1 y (p+s) E2 almacenados a 25°C, 35°C y 45°C que tuvieron comportamiento diferente a partir del día 7, 14 y 7, respectivamente. Este comportamiento fue similar a la cinética de contenido de humedad, donde el aumento se debió al tipo de empaque y el aumento de temperatura.

Figura 18. Variación de actividad de agua de pulpa+semillas (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C.

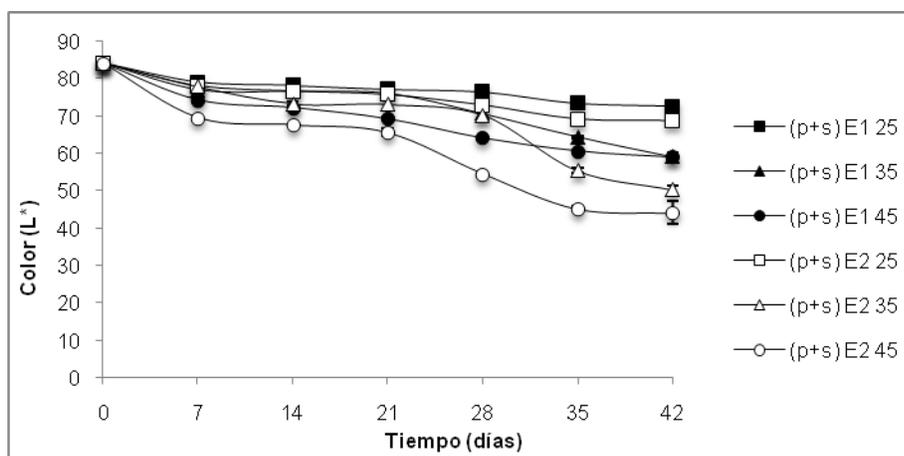


### ▪ Cinética de luminosidad ( $L^*$ )

Los tratamientos que perdieron poca luminosidad fueron (p+s) E1 25 y (p+s) E2 25. Para el caso de (p+s) E2 35 y (p+s) E2 45 perdieron mayor luminosidad que (p+s) E1 35 y (p+s) E1 45 (figura 19). Mediante el análisis de medias de mínimos cuadrados se determinó que hay diferencia significativa entre pares de tratamientos almacenados a 25°C, 35°C y 45°C que tuvieron comportamientos diferentes a partir del día 28, 35 y 28, respectivamente.

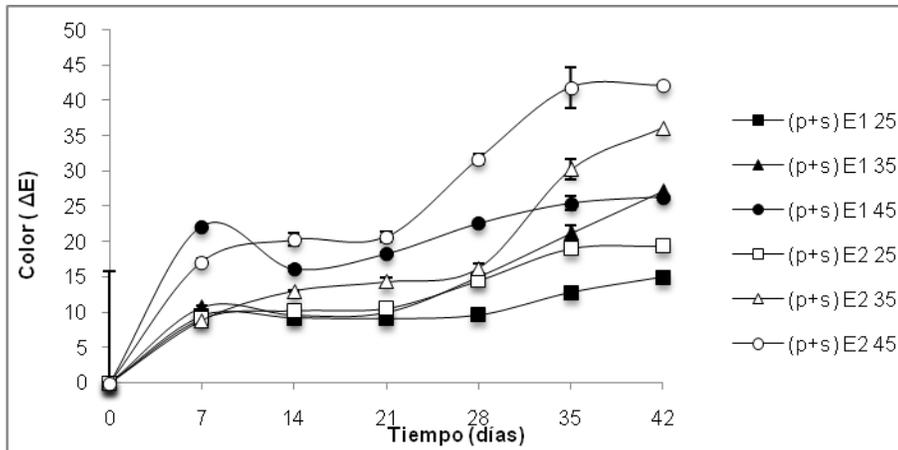
La pérdida de luminosidad en las muestras de cocona se dio debido al pardeamiento que se presentó, esta reacción se acelera en el empaque E2 debido a que este tuvo mayor transferencia de vapor de agua y por esto se aumentó la actividad de agua y el aumento de temperatura aceleró la pérdida de luminosidad (Badui Dergal, 2006). Las muestras almacenadas a 25°C mostraron menor pérdida de luminosidad.

Figura 19. Variación de luminosidad ( $L^*$ ) de pulpa+semillas (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C.



#### ▪ Cinética del cambio de color total ( $\Delta E$ )

Figura 20. Variación de color  $\Delta E$  de pulpa+semillas (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C.



En la figura 20, (p+s) E1 25 y (p+s) E2 25 no se observó cambio de color importante, ya que no sobrepasa un  $\Delta E$  de 20%. Para (p+s) E2 35 y (p+s) E2 45 tuvieron un cambio de color total notable y esto se relacionó con la pérdida de luminosidad, el aumento de actividad de agua y contenido de humedad. Las muestras tuvieron un comportamiento diferente a partir de los días 28, 14 y 7 de los pares de tratamientos almacenados a 25°C, 35°C y 45°C respectivamente.

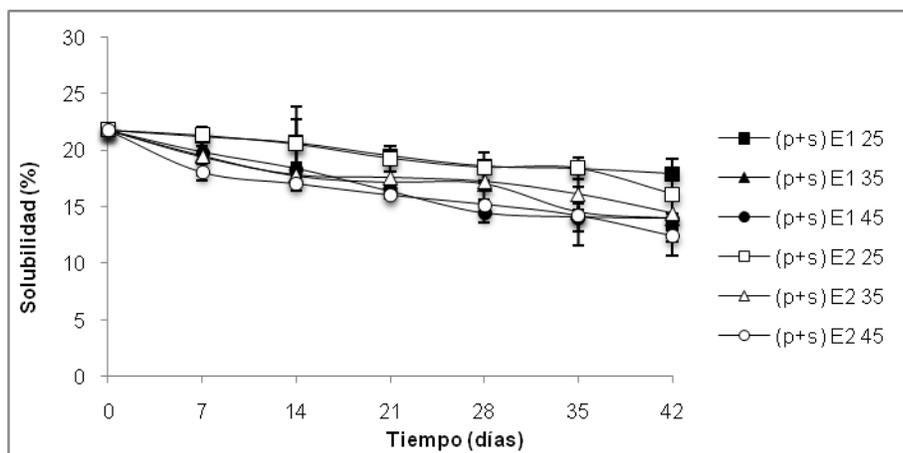
Cuando se compararon los pares de tratamientos, las muestras empacadas en E2 tuvieron mayor cambio de color que las muestras empacadas en E1, lo que concordó con las cinéticas estudiadas anteriormente.

Mediante el análisis de medias de mínimos cuadrados se pudo determinar que hubo diferencia significativa entre los pares de tratamientos (p+s) E1 y E2 almacenados a 35°C y 45°C. Las muestras que fueron almacenadas a 25°C no tuvieron diferencia significativa.

#### ▪ Cinética de solubilidad

La solubilidad mostró disminución de 9,37%, dato que se obtuvo en la cinética de (p+s) E2 45 y la pérdida de solubilidad no fue notable, sin embargo fue mayor en los pares de tratamiento almacenados a 35°C y 45°C. En las muestras que se almacenaron a 25°C, la pérdida fue de 3,89% y 5,66% para (p+s) E1 y (p+s) E2, respectivamente (figura 21). El aumento de humedad logró disminuir la solubilidad, debido a que es posible que haya habido un reordenamiento de partículas de azúcar, las cuales promovieron la cristalización en las muestras (Goula & Adamopoulos, 2005; Costa et al., 2013).

Figura 21. Variación de solubilidad de pulpa+semillas (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C.



Mediante el análisis de medias de mínimos cuadrados se pudo determinar que no hay diferencia significativa entre E1 y E2 a temperatura de 25°C, 35°C y 45°C.

#### ▪ Orden de reacción

Tabla 21. Orden de reacción y constante específica de velocidad (k) para las cinéticas de contenido de humedad, luminosidad  $L^*$ , cambio de color total y solubilidad de pulpa+semilla (p+s) de cocona en polvo empacada en E1( BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente durante el amacenmento a 25°C, 35°C y 45°C.

Variable	Tipo de empaque	Temperatura (°C)	Orden de reacción	Constante de velocidad (k)	R <sup>2</sup>	RMSD
Actividad de agua	E1	25	n = 0	0,0034	0,9647	0,0034
		35		0,0035	0,9947	0,0012
		45		0,0062	0,9235	0,0095
	E2	25	n = 0	0,0046	0,9769	0,0038
		35		0,0100	0,9035	0,0158
		45		0,0098	0,9835	0,0060
Contenido de humedad	E1	25	n = 0	0,1303	0,9270	0,1932
		35		0,1905	0,9183	0,3005
		45		0,1978	0,9235	0,3012
	E2	25	n = 1	0,0234	0,8168	0,0589
		35		0,0312	0,9526	0,0392
		45		0,0323	0,9586	0,0356
Luminosidad (L*)	E1	25	n = 1	0,0031	0,9261	0,0047
		35		0,0076	0,9163	0,0122

	E2	45	n = 1	0,0081	0,9671	0,0079
		25		0,0046	0,9513	0,0055
		35		0,0116	0,8801	0,0226
		45		0,0154	0,9470	0,0192
Cambio de color total ( $\Delta E$ )	E1	25	Seudo orden 1	0,0250	0,8072	0,0647
		35		0,0458	0,9168	0,0714
		45		0,1165	1,0000	0,0041
	E2	25	Seudo orden 1	0,0803	0,8587	0,1724
		35		0,0573	0,9760	0,0398
		45		0,2766	1,0000	1,23E-16
Solubilidad	E1	25	n = 1	0,0050	0,9723	0,0045
		35		0,0100	0,9520	0,0119
		45		0,0115	0,9504	0,0139
	E2	25	n = 2	0,0003	0,9130	0,0006
		35		0,0005	0,9313	0,0007
		45		0,0007	0,9600	0,0008

Fue aplicado el método integral en las cinéticas de las variables de respuesta soportado con análisis de regresión lineal (anexo B) y la cinética que se utilizó para determinar vida útil fue la de actividad de agua, ya que mostró orden de reacción 0.

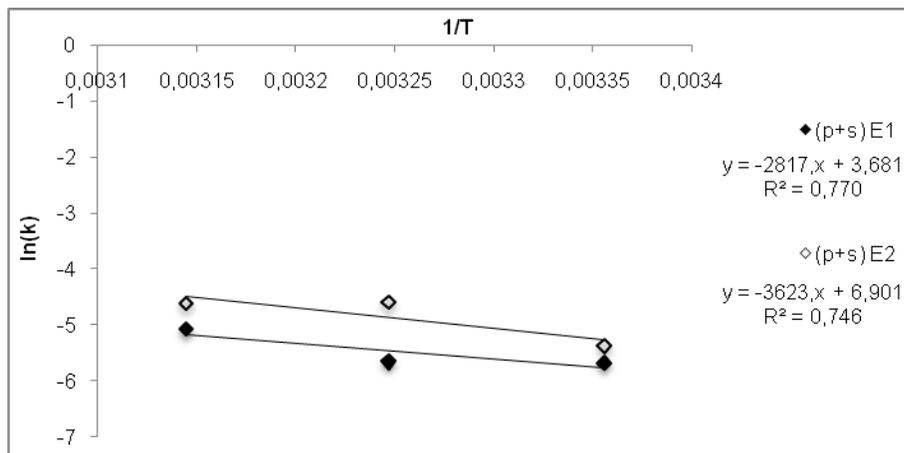
La cinética de diferencia de color total obedeció a pseudo orden 1, ya que la literatura reporta que este tipo de deterioros son características de pardeamiento no enzimático y degradación de pigmentos que obedecen a orden de reacción 0 y 1, respectivamente (Ibarz et al., 1999). Por consiguiente, se normalizó el cambio de color de (p+s) a un 20% ( $C_{\infty}$ ) y la cinética de  $\Delta E$  obedeció a pseudo orden 1 (tabla 21).

▪ **Factores k, Ea y Q<sub>10</sub> para actividad de agua (a<sub>w</sub>)**

El desarrollo del método integral entregó las constantes específicas de velocidad (k) para la cinética de actividad de agua  $k(a_w)(\text{días}^{-1})$  (tabla 21), donde se observó el aumento de k a medida que aumentó la temperatura de almacenamiento en los dos tipos de empaques, sin embargo los valores de k fueron mas altos en E2 por su alta transferencia de vapor del ambiente hacia las muestras.

Las constantes específicas de velocidad de (p+s) para la cinética de actividad de agua  $k(a_w)(\text{días}^{-1})$  son mayores a las que se obtuvo en (p), debido a la presencia de semillas en las muestras (aumento de extracto etéreo), lo cual produce enranciamiento con la presencia de oxígeno en el empaque (Badui Dergal, 2006; Jena & Das, 2012).

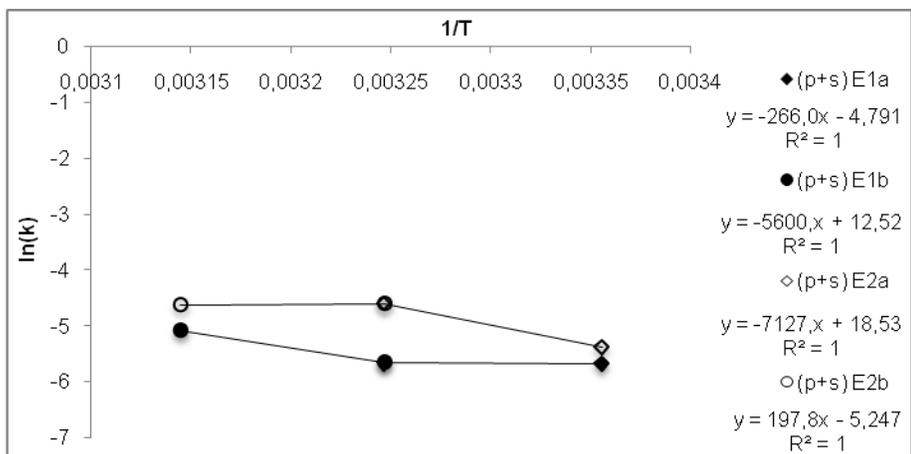
Figura 22. Comportamiento de la ecuación de Arrhenius para actividad de agua ( $a_w$ ) de pulpa+semilla (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente).



En la gráfica del comportamiento de la ecuación de Arrhenius (figura 22) se observó que

Las muestras de (p+s) no cumplen con el comportamiento de la ecuación de Arrhenius (figura 22), debido a que coeficiente de regresión se encontró por debajo de 0,85, debido a esto se procede a realizar regresión lineal por etapa de temperatura de almacenamiento (figura 23), de donde se obtuvieron dos energías de activación, cada uno para el lapso de temperatura que fueron empleadas (tabla 22).

Figura 23. Posible comportamiento de la ecuación de Arrhenius para actividad de agua ( $a_w$ ) de pulpa+semilla (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente).



El no cumplimiento del comportamiento de la ecuación de Arrhenius en las muestras (p+s), pudo deberse al contenido de extracto etéreo que prima en las muestras debido a que su composición fue de 70,9% de pulpa y 29,1% de semillas.

Debido a que no se encontró literatura acerca de los aceites esenciales que contiene la semilla de cocona, este comportamiento se relacionó con la semilla de sauce, la cual tiene un contenido similar de ácidos grasos (palmítico y linoléico) al lulo (Cerón et al., 2012), fruta similar a la cocona. En semilla de sauce se observó que la transición vítrea con contenidos de humedad de 8%, se encontraron alrededor de los 30-35 °C (Maroder, 2008), contenidos de humedad obtenidos en el almacenamiento de (p+s) de cocona y temperatura de almacenamiento donde no se cumple el comportamiento de la ecuación de Arrhenius en este estudio.

Tabla 22. Energía de activación (Ea) y factor Q<sub>10</sub> de pulpa+semilla (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) almacenada a 25°, 35°C y 45°C.

Tipos de empaque	Temperatura de almacenamiento	Ea (Kj/mol)	R <sup>2</sup>	RMSD
E1a	25-35 °C	2,21	1	2,18E-12
E1b	35-45 °C	46,54	1	1,79E-12
E2a	25-35 °C	59,23	1	1,12E-12
E2b	35-45 °C	1,64	1	2,82E-13

Tabla 23. Factor Q<sub>10</sub> de pulpa+semilla (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) almacenada a 25°, 35°C y 45°C.

Tipos de	Q <sub>10</sub> (a <sub>w</sub> )
----------	-----------------------------------

empaque	25°C	35°C	45°C
E1	1,37	1,35	1,32
E2	1,50	1,47	1,43

Respecto al factor  $Q_{10}$ , fue superior para las muestras empacadas en E2, lo que determinó que al aumentar la temperatura en 10°C, aumentaría el deterioro en este empaque debido a la presencia de extracto etéreo en la muestra generando mayor enranciamiento con el aumento de la temperatura (tabla 23) (Badui Dergal, 2006; Jena & Das, 2012).

▪ **Tiempo de vida útil para pulpa+semilla (p+s) de cocona en polvo**

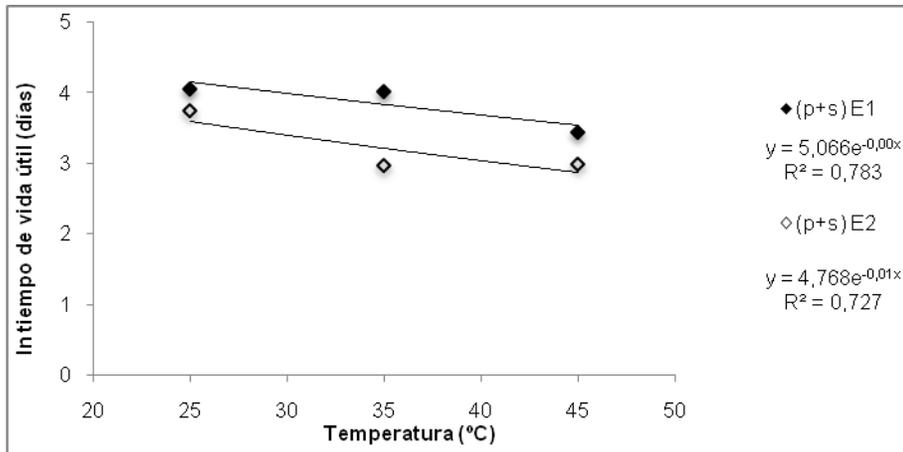
Se utilizó la ecuación 13 para determinar el tiempo de vida útil, donde se tuvo en cuenta que la actividad de agua crítica para producto deshidratados es de 0,4 (Martinez et al., 1998; Badui Dergal, 2006), las muestras p+s tuvieron 0,206 de actividad de agua inicial con los valores de k que ya se obtuvieron (tabla 24).

Tabla 24. Tiempo de vida útil (días) de pulpa+semilla (p+s) que se empacó en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) limitado por el atributo actividad de agua que tuvo cinética de orden cero.

Empaque	Tiempo de vida útil (días)		
	25°C	35°C	45°C
E1	57,06	55,43	31,29
E2	42,17	19,40	19,80

El tiempo de vida útil de (p+s) disminuyó a medida que se aumentó la temperatura de almacenamiento para las muestras empacadas en E1 y E2, lo que demostró que aumentó la velocidad específica de reacción, mostrando mayor tiempo de vida útil almacenadas a 25°C empacado en E1 (figura 24).

Figura 24. Ln de tiempo de vida útil (días) vs temperatura (°C) de pulpa+semilla (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) limitado por el factor actividad de agua ( $a_w$ ) con orden de reacción 0.

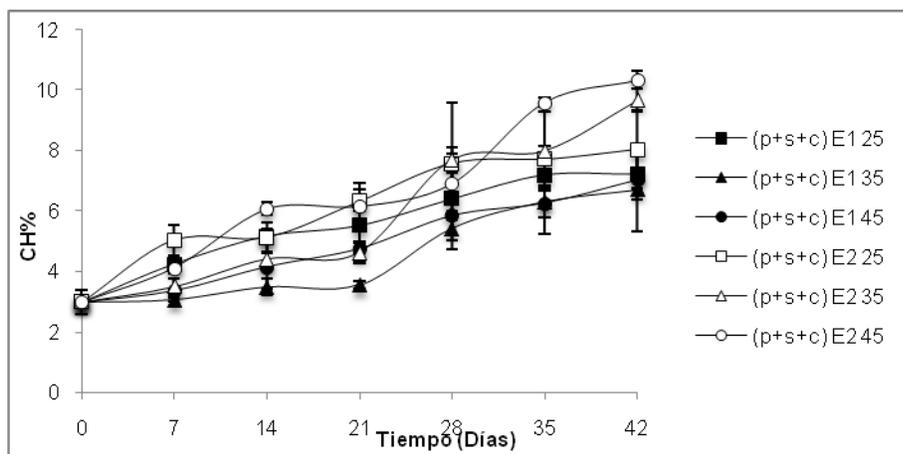


### 7.3.3 (Pulpa+semilla+epidermis) de cocona en polvo

#### ▪ Cinética de contenido de humedad (CH%)

El contenido de humedad de (p+s+c) inicial de 2,99%, aumentó durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C (figura 24). Se observó que las muestras que tuvieron mayor aumento fueron las empacadas en E2 a 35°C y 45°C. Entre los pares de tratamientos se observó un comportamiento diferente desde el día 21, 14 y 14 almacenados a 25°C, 35°C y 45°C y el análisis de medias de mínimos cuadrados pudo determinar que hubo diferencia significativa entre (p+s+c) E1 y (p+s+c) E2 a las temperaturas de almacenamiento. La mayor transferencia de vapor de agua del empaque E2, aumentó el contenido de humedad en las muestras.

Figura 25. Variación del contenido de humedad (CH%) de pulpa+semillas+epidermis (p+s+c) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C.

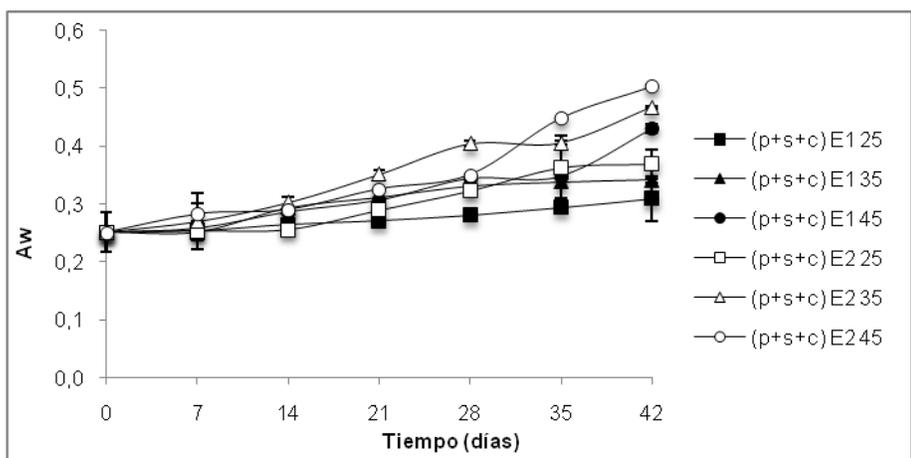


#### ▪ Cinética de actividad de agua ( $a_w$ )

Después del proceso de liofilización, las muestras de (p+s+c) tuvieron  $a_w$  de 0,252 y durante el almacenamiento aumentó a 0,504 en E2 45, los pares de tratamiento almacenados a 45°C fueron los que llegaron a mayor actividad de agua. Las muestras que mostraron menor cambio en la  $a_w$  fueron E1 25, E2 25 y E1 35 (figura 25). El análisis

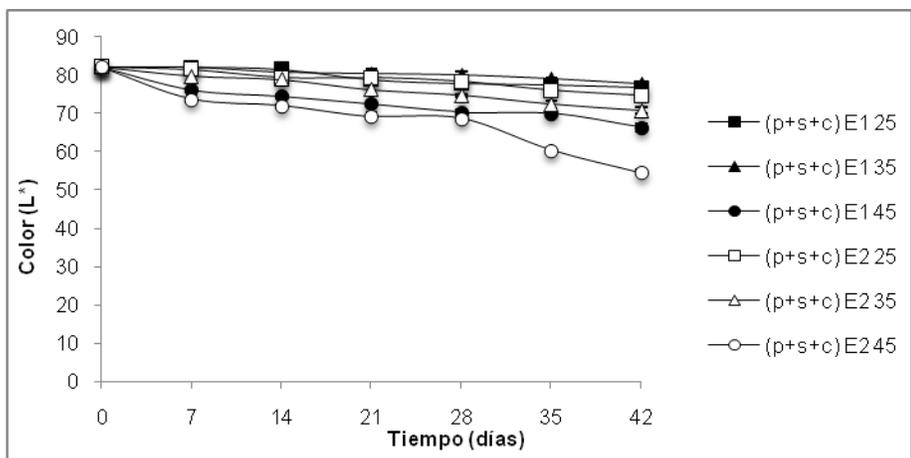
de medias de mínimos cuadrados determinó que hubo diferencia significativa entre los pares de tratamientos almacenados a las tres temperaturas y mostrando comportamiento diferentes en los días 28, 28 y 35 para 25°C, 35°C y 45°C, respectivamente, a medida que se aumentó la temperatura.

Figura 26. Variación de actividad de agua ( $a_w$ ) de pulpa+semillas+epidermis (p+s+c) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C.



▪ **Cinética de luminosidad ( $L^*$ )**

Figura 27. Variación de luminosidad ( $L^*$ ) de pulpa+semillas+epidermis (p+s+c) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C.

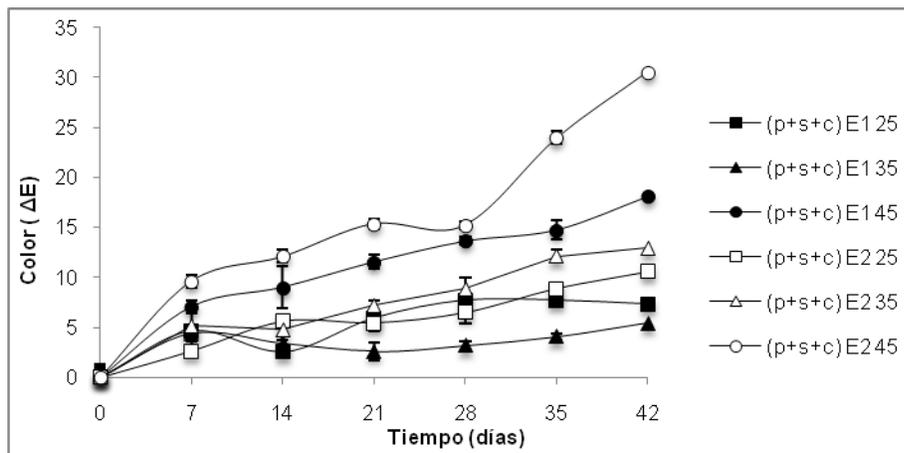


Las muestras de (p+s+c) fueron susceptibles a la temperatura durante el almacenamiento, ya que se observó mayor pérdida de luminosidad en E1 45 y E2 45. Las muestras que se almacenaron a 25°C y 35°C empacadas en E1 tuvieron pérdida de luminosidad de 5,41 y 4,36 respectivamente. La pérdida de luminosidad en las muestras se debió al pardeamiento de cocona en polvo, más aún para (p+s+c) por su contenido de epidermis, la cual mostró colores marrones procedentes de la evolución del pardeamiento no enzimático (Ibarz-Martínez et al., 2010), lo cual estuvo ligado al aumento de actividad de agua (Badui Dergal, 2006).

Los pares de tratamientos E1 y E2 a temperatura de 25°C, 35°C y 45°C mostraron comportamiento diferente a partir de los días 14, 7 y 35, respectivamente y el análisis de mínimos cuadrados determinó que hubo diferencia significativa entre los pares de tratamientos.

#### ▪ Cinética del cambio de color total ( $\Delta E$ )

Figura 28. Variación de color  $\Delta E$  de pulpa+semillas+epidermis (p+s+c) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C.



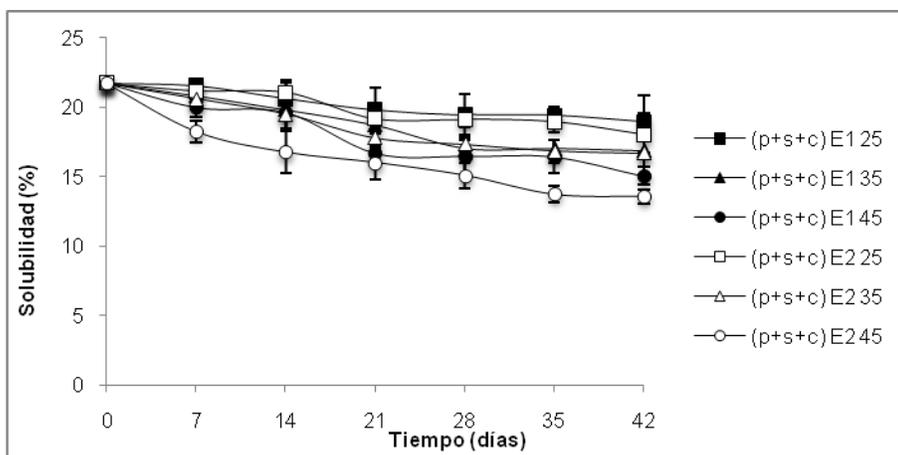
El cambio de color total en las muestras de (p+s+c) de cocona en polvo mostraron diferencias significativa entre los pares de tratamientos E1 y E2 en las temperaturas de almacenamiento (figura 27). El  $\Delta E$  fue superior para las muestras que se empacaron en E2 debido a que la actividad de agua aumentó, dio paso al pardeamiento y cambio de un color abano con partículas rojas de la cáscara a muestras de color marrón y partículas de

color café oscuro. Y cuando se compararon los cambios de color por temperatura de almacenamiento, se observó mayor cambio en las muestras almacenadas a 45°C. El comportamiento entre los tratamientos fue diferente a partir de los días 14, 21 y 35 para el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C respectivamente, lo que demostró que hubo diferencias significativa.

#### ▪ Cinética de la solubilidad

La solubilidad es una variable que mostró resultados bajos en este estudio, se determinó que la solubilidad disminuyó en mayor proporción en (p+s+c) E1 45 y (p+s+c) E2 45, donde tuvieron diferencias significativas (figura 28). La solubilidad de los pares de tratamientos almacenados a 25 y 35°C no tuvieron diferencias significativas y menor disminución.

Figura 29. Variación de solubilidad de pulpa+semillas+epidermis (p+s+c) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C.



La solubilidad disminuyó porque el contenido de humedad de las muestra aumentó durante el almacenamiento, lo cual no es suficiente para aumentar la higroscopicidad sino para aumentar la cristalización de los azúcares (Goula & Adamopoulos, 2005; Costa et al., 2013) y las muestras que mas perdieron solubilidad fueron las empacadas en E2, porque fueron las muestras que tuvieron mayor aumento de humedad que las empacadas en E1, un comportamiento similar tuvo el el almacenamiento de polvo de cáscara de pitahaya (Ee et al., 2014).

▪ **Orden de reacción**

Tabla 25. Orden de reacción y constantes específica de velocidad (k) para las cinéticas de actividad de agua, contenido de humedad, luminosidad L\*, cambio de color total y solubilidad de pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) de cocona en polvo empacada en E1( BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente durante el almacenamiento a 25°C, 35°C y 45°C.

Variable	Tipo de empaque	Temperatura (°C)	Orden de reacción	Constante de velocidad (k)	R <sup>2</sup>	RMSD
Actividad de agua	E1	25	n = 0	0,0014	0,9623	0,0014
		35		0,0031	0,9402	0,0035
		45		0,0039	0,9161	0,0063
	E2	25	n = 0	0,0032	0,9197	0,0051
		35		0,0052	0,9746	0,0044
		45		0,0058	0,9111	0,0097
Contenido de humedad	E1	25	n = 1	0,0199	0,9087	0,0336
		35	n = 1	0,0220	0,9151	0,0354
		45	n = 0	0,1004	0,9898	0,0540
	E2	25	n = 0	0,1171	0,9254	0,1761
		35		0,1646	0,9358	0,2280
		45		0,1726	0,9583	0,1906
Luminosidad (L*)	E1	25	n = 1	0,0019	0,9287	0,0028
		35		0,0013	0,9625	0,0013
		45		0,0044	0,9416	0,0058
	E2	25	n = 1	0,0022	0,9571	0,0025
		35		0,0035	0,9920	0,0017
		45		0,0085	0,9238	0,0130
Cambio de color total (ΔE)	E1	25	Seudo orden 1	0,0110	0,7816	0,0307
		35		0,0071	0,9768	0,0071
		45		0,0479	0,9155	0,0770
	E2	25	Seudo orden 1	0,0163	0,9530	0,0192
		35		0,0240	0,9505	0,0289
		45		0,0523	0,9179	0,0692
Solubilidad	E1	25	n = 1	0,0035	0,9461	0,0044
		35		0,0067	0,9389	0,0090
		45		0,0086	0,9251	0,0129
	E2	25	n = 2	0,0002	0,9276	0,0003
		35		0,0004	0,9514	0,0004
		45		0,0006	0,9646	0,0006

Las cinética que fueron realizadas en este estudio para (p+s+c) obedecieron a orden de reacción 0, 1 y 2 (tabla 25) y se escogió la cinética de actividad de agua para determinar el tiempo de vida útil, ya que en todas las temperaturas de almacenamiento presentó orden de reacción 0, reacción que se presentó primero (anexo C).

En las muestras empacadas en E1 se observó una disminución de orden de reacción en la cinética de contenido de humedad, lo cual se debió al aumento de temperatura de almacenamiento, que generó un movimiento molecular y aumentó notablemente la velocidad específica de reacción (Izquierdo, 2004).

La cinética de cambio de color total no obedeció a orden de reacción 0 y 1 para describir los cambios que se produjeron, ya que los cambios de color pueden ser reacción no enzimática causada por la reacción entre azúcares reductores y los aminoácidos y destrucción de los pigmentos naturales, que corresponden a orden de reacción cero y uno, respectivamente (Ibarz et al., 1999). Teniendo en cuenta esta suposición, se procedió a normalizar el cambio de color, ya que es una variable importante en la aceptación comercial. Se limitó con  $C_{\infty}=20\%$  de deterioro, valor aceptado por la literatura (Labuza & Schmidl, 1985) y la cinética obedeció a un pseudo orden 1.

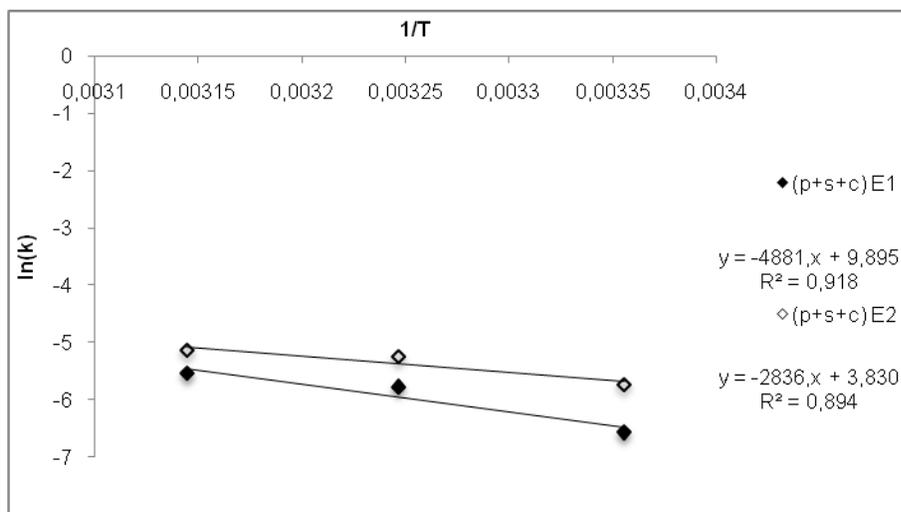
Las constantes específicas de velocidad tuvieron un aumento con la temperatura de almacenamiento, lo cual determinó que las variables se vieron afectadas por la temperatura de  $45^{\circ}\text{C}$ , causando un mayor deterioro de  $(p+s+c)$ .

#### ▪ Factores $k$ , $E_a$ y $Q_{10}$ para actividad de agua ( $a_w$ )

Las constantes específicas de velocidad ( $k$ ) de  $(p+s+c)$  en la cinética de actividad de agua ( $k(a_w)(\text{días}^{-1})$ ) aumentaron con el aumento de la temperatura, sin embargo el valor de  $k$  de  $(p+s+c)$  empacada en E2 y almacenada a  $25^{\circ}\text{C}$  es muy baja, lo que pudo determinar que las muestras con contenido de semilla y cáscara pueden tener un lento deterioro almacenadas a  $25^{\circ}\text{C}$ , cuando se aumentó la temperatura aumentó su velocidad de deterioro. Se realizó regresión lineal para los valores de  $k$  que se obtuvieron se acogieron a una regresión lineal con  $R^2$  cercano a 1 y RMSD por debajo de 0,0014 (tabla 25).

Se elaboró la gráfica de la ecuación de Arrhenius (figura 30) y cuando se observó  $R^2$  cercano a 1 y menor error, las muestras cumplieron la ecuación. Se determinó la energía de activación ( $E_a$ ) con la pendiente de la recta ( $m$ ) de los valores de  $k$ , con la relación  $m=-E_a/R$ , donde  $R= 8,31 \text{ j/mol}\cdot\text{K}$ .

Figura 30. Comportamiento de la ecuación de Arrhenius para actividad de agua ( $a_w$ ) de pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente).



La energía de activación fue menor para las muestras que fueron empacadas en E2 (tabla 26), lo que describió menor requerimiento de energía para el desarrollo de reacciones, debido a que el empaque permitió el paso de vapor de agua, también se observó pardeamiento, lo que en conjunto aumentó la actividad de agua y se presentó primero el deterioro en el empaque transparente.

Tabla 26. Energía de activación ( $E_a$ ) y factor  $Q_{10}$  de pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) almacenada a 25°, 35°C y 45°C.

Tipos de empaque	$E_a$ (Kj/mol)	$R^2$	RMSD	$Q_{10}(a_w)$		
				25°C	35°C	45°C
E1	40,57	0,9184	0,0724	1,73	1,67	1,62
E2	23,57	0,8941	0,0486	1,38	1,35	1,32

Los valores del factor  $Q_{10}$  fueron mas altos para muestras empacadas en E1 (tabla 26), lo que se observó en la figura 29, las muestras empacadas en E1 perdieron estabilidad cuando fueron almacenadas a temperaturas mas alta. (p+s+c). Cuando fueron empacadas en E2 mostraron menor diferencias de deterioro cuando se aumentó la temperatura, y por esto el  $Q_{10}$  fue menor.

▪ **Tiempo de vida útil para pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) de cocona en polvo**

Se determinó el tiempo de vida útil (ecuación 12) con la actividad de agua crítica para productos deshidratados (0,4) (Martínez et al., 1998; Badui Dergal, 2006), actividad de agua inicial para las muestras (p+s+c) (0,252) y los valores de k ya obtenidos (tabla 27).

Tabla 27. Tiempo de vida útil (días) de pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) que se empacó en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente) limitado por el atributo actividad de agua que tuvo cinética de orden cero.

Empaque	Tiempo de vida útil (días)		
	25°C	35°C	45°C
E1	105,71	47,74	37,95
E2	46,25	28,46	25,52

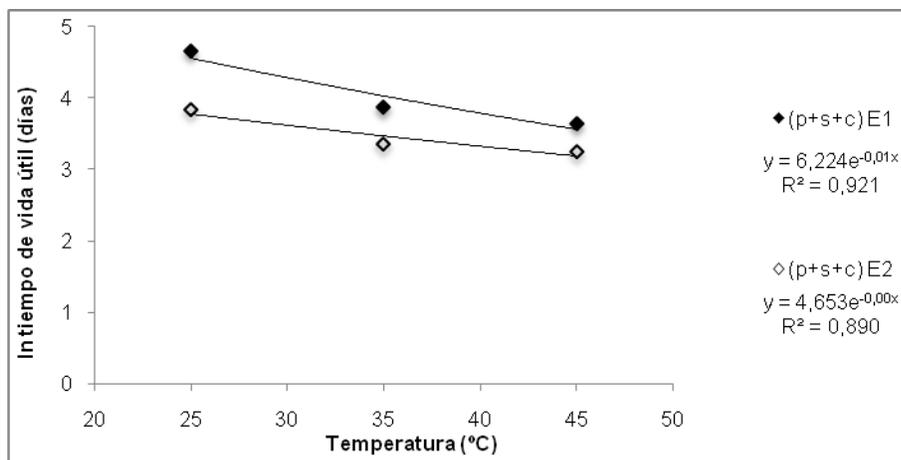
El factor  $Q_{10}$  fue mayor para las muestras empacadas en E1 que en E2, debido a que al multiplicar la velocidad específica de reacción con el factor  $Q_{10}$ , el deterioro será mayor al aumentar la temperatura en 10°C, debido a que a medida que se aumenta la temperatura el empaque dilata los poros y permite mayor transferencia de vapor de agua.

El factor  $Q_{10}$  para el empaque E1 fue similar en todas las temperaturas porque este empaque ya tiene una alta transferencia de vapor de agua que sería muy poco probable que cambie con el aumento de la temperatura (Montaña, 2013).

En referencia al tiempo de vida útil se observó, que las muestras que fueron empacadas en E1 presentaron mayor tiempo de vida útil al ser comparados con la vida útil de (p+s+c) E2, sin embargo, al aumentar la temperatura de almacenamiento, disminuyó el tiempo de vida útil, lo cual se dio por el aumento de velocidad específica de reacción (figura 31).

Figura 31. Ln de tiempo de vida útil (días) vs temperatura (°C) de pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP

transparente) limitado por el factor actividad de agua ( $a_w$ ) con orden de reacción 0.



Finalmente, el ANOVA explicó que el tipo de empaque y la temperatura de almacenamiento influyeron significativamente en el tiempo de vida útil, sin embargo el tipo de producto (p), (p+s) y (p+s+c) no tiene significancia. El modelo lineal general de tiempo de vida útil explicó que los datos tienen una correlación del 93,3%, sin embargo realiza un ajuste de los datos y descarta el valor de 105, 71 días.

## 7.4 Producción académica

### ARTICULOS DE INVESTIGACIÓN

Serna-Cock, L., Vargas-Muñoz, D.P., Ayala-Aponte, A. Structural, physical, functional and nutraceutical changes of freeze-dried fruit. **Revista African Journal of Biotechnology**, 14(6), pp. 442-450. February 2015.

Serna-Cock, L., Vargas-Muñoz, D.P., Rengifo-Guerrero, C.A. Agroindustrial Potential of cocona (*Solanum sessiliflorum Dunal*) pulp, peels and seeds. Se encuentra aceptado para publicación en la revista **Brazilian Journal of Food Technology** desde el 5 de marzo de 2015.

Serna, L., Vargas, D., Ayala, A. 2014. Efecto de la liofilización sobre algunas Propiedades Fisicoquímicas de Cocona (*Solanum sessiliflorum Dunal*). **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, 67(2) Supl. II, pp. 218-219.

### PARTICIPACION EN CONGRESOS (Ponencia oral)

Serna, L., Vargas, D., Ayala, A. 2014. Efecto de la Liofilización sobre algunas Propiedades Fisicoquímicas de Cocona (*Solanum sessiliflorum Dunal*). Modalidad Oral. II Congreso Internacional de Investigación e Innovación en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Alimentos. Realizado en Medellín, Colombia del 27 al 30 de mayo de 2014.



## 8. Conclusiones

### POTENCIAL AGROINDUSTRIAL

Pulpa, semilla y epidermis de cocona poseen potencial agroindustrial, siendo la semilla ideal para desarrollar productos de valor agregado, por su buen contenido de materia seca, carbohidratos, grasa, proteína, Fe, Ca, Zn, Mn, P y fibra dietaria.

Pulpa, epidermis y semilla de cocona, tienen potencial agroindustrial, ya que se pueden transformar en polvos alimentarios con propiedades funcionales y por lo tanto se pueden utilizar como suplemento o ingrediente alimentario. La cáscara y semilla en polvo se puede utilizar en la industria de las fermentaciones como fuente orgánica de nitrógeno.

Las concentraciones minerales encontradas en pulpa, epidermis y semilla de cocona, hace a sea una fruta apta para ser utilizada en formulaciones de complementos dietarios, que podrían consumir personas con restricciones en la dieta, ya que tiene un buen contenido de sodio y otros minerales.

El contenido en fibra dietaria soluble e insoluble, en pulpa, epidermis y semilla de cocona, los hace aptos para ser utilizados en la formulación de comprimidos prebióticos benéficos para prevenir enfermedades de colon, en formulaciones adelgazantes, y en formulaciones de origen natural para prevenir el aumento de colesterol sanguíneo, ya que es bien conocida la capacidad que tiene la fibra dietaria, especialmente la fibra soluble, de eliminar toxinas, retener agua, aumentar la sensación de saciedad, disminuir el tiempo de absorción de nutrientes y disminuir la absorción intestinal del colesterol.

Teniendo en cuenta las dietas amazónicas, la pulpa de cocona podría utilizarse como fuente de contenido de ácido ascórbico que puede prevenir el daño celular causado por la oxidación por lo cual la pulpa podría utilizarse en la formulación de complejos antioxidantes y productos prebióticos.

Tanto la pulpa como la epidermis podrían utilizarse como alimento para humanos, y una opción de fácil consumo sería liofilizarlos e incorporarlos en cereales para el desayuno o barras energéticas, mejorando de esta forma sus cualidades prebióticas.

Por lo tanto, se comprueba la hipótesis, la fruta tiene potencial agroindustrial para ser utilizado en la industria alimentaria, ya sea pulpa, semillas y epidermis, disminuyendo los residuos industriales. La pulpa de cocona con semillas y epidermis en polvo puede servir como ingrediente alimentario, debido a que puede proporcionar color, sabor y contenido de carbohidratos a diferentes alimentos, y además puede suplir en parte, las actuales recomendaciones de la OMS sobre el consumo de 5 porciones diarias de fruta.

#### EFEECTO DE LA LIOFILIZACION

La liofilización como método de conservación de pulpa, pulpa+semillas y pulpa+semillas+epidermis de cocona en polvo, es recomendable, debido a que conservan propiedades propias de la fruta fresca, genera productos altamente estables en el almacenamiento con  $a_w$  menores a 0.4, retiene alto porcentaje de ácido ascórbico, incrementa la claridad (no pardeamiento), y la pureza de color (mayor viveza), y conserva el tono característico de la pulpa. La semilla en la pulpa no interfirió en los parámetros evaluados. Por lo anterior la hipótesis propuesta fue aceptada.

La harina obtenida de cocona liofilizada no se recomienda para la formulación de productos que necesitan solubilizarse en agua, ya que se demostró que tanto las harinas obtenidas de pulpa, pulpa+semillas y pulpa+semillas+epidermis tienen baja solubilidad (menores a 25%). La baja solubilidad se atribuyó al contenido de almidones, los cuales son compuestos no solubles en agua, así como a los contenidos en hemicelulosa y lignina presentes en la semilla y en la epidermis, que también son insolubles en agua.

La rehidratación es un parámetro de calidad importante para que los productos sean aceptados o no por los consumidores, por lo tanto, los polvos alimentarios de pulpa, pulpa+semillas, y (pulpa+semillas+epidermis) obtenida por liofilización, son ideales para desarrollar productos que requieran fácil rehidratación, ya que en solo 10 minutos alcanzan hasta 71,31% a 85,75% de su humedad en fresco.

La hipótesis que fue propuesta de los productos de cocona en polvo obtenidos por liofilización tendrían solubilidad superior al 80% se rechaza, ya que cocona en polvo presentó sólo 25% de solubilidad, esto es una limitante para el desarrollo de productos que requieran alta solubilidad.

#### ESTIMACION VIDA UTIL

Dado que las cinéticas de menor orden, para un grado de deterioro, prima sobre las de orden superior, en el presente estudio la cinética que limitó la vida útil fue actividad de agua ( $a_w$ ), ya que es de orden 0 y porque da información con respecto a la estabilidad del alimento.

La velocidad de deterioro aumentó con el aumento de temperatura y con el uso del empaque de BOPP transparente, debido a que el vapor de agua existe en la cámara climática, pasó fácilmente a través del empaque, el cual tiene alta permeabilidad al vapor de agua y llegó al producto.

La temperatura y el tiempo de empaque influyó significativamente en el tiempo de vida útil de las muestras (p), (p+s) y (p+s+c) como lo describió el ANOVA mediante el modelo general lineal.

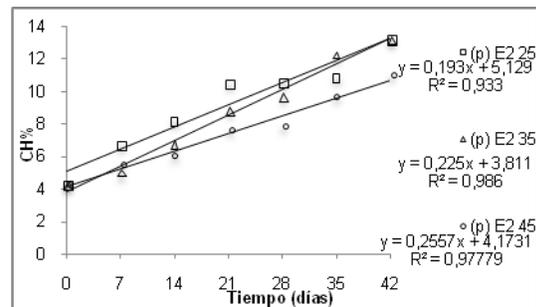
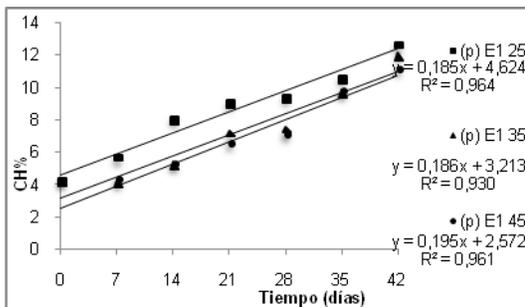
De los empaques evaluados para cocona en polvo se recomienda el BOPP laminado, ya que conserva hasta 61 días la pulpa, hasta 57 días la pulpa+semillas almacenada a 25°C. La diferencia de vida útil entre los productos podría explicarse por las diferencias en el contenido de extracto etéreo (aportado por las semillas) entre los tratamientos, ya que para el caso de (pulpa+semilla) que presentó la menor vida útil, presentó mayor contenido de extracto etéreo (70,9% de pulpa y 29,1% de semilla), lo cual generó rancidez y disminuyó la vida útil. Para el caso de (pulpa+semilla+cáscara) con contenido de pulpa de 64%, semillas 9,7%, epidermis 26,5%, el extracto etéreo fue más bajo, lo cual permitió mayor estabilidad a la muestra, razón por la que se obtuvo mayor vida útil.

Se aceptó la hipótesis de almacenamiento de cocona en polvo, ya que no sobrepasaron el 0,4 de actividad de agua durante el tiempo de vida útil.

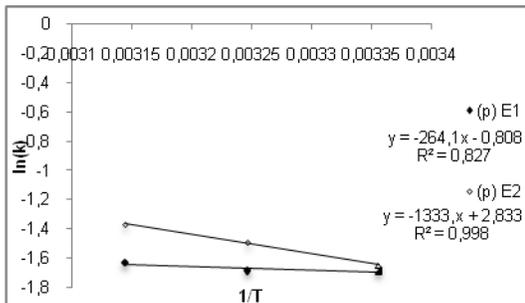


# ANEXO A. Determinación de orden de reacción para pulpa (p) por método integral

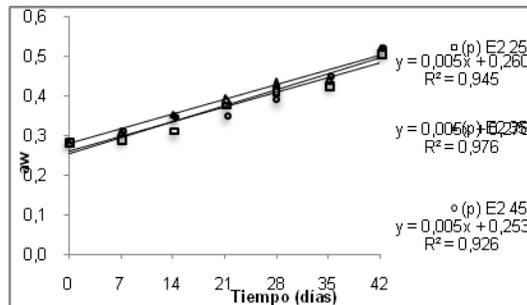
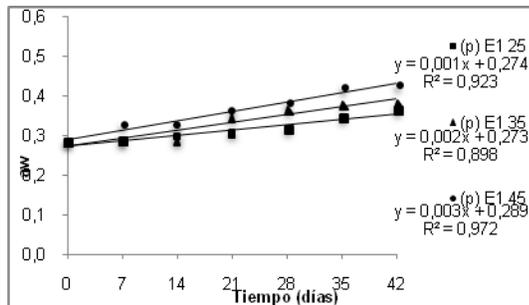
% CONTENIDO DE HUMEDAD



Aumento de contenido de humedad en función del tiempo (días) que obedeció a orden de reacción 0 en 25°C, 35°C y 45°C con una pendiente que es la velocidad específica de reacción (k) para pulpa (p) empacada en E1 (BOPP laminado) y empacada en E2 (BOPP transparente).

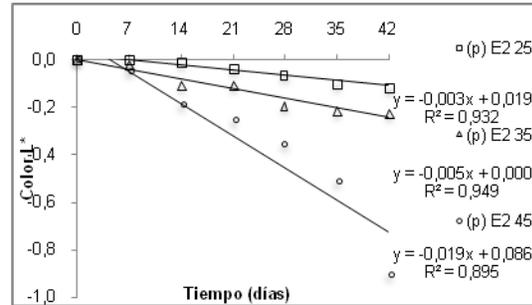
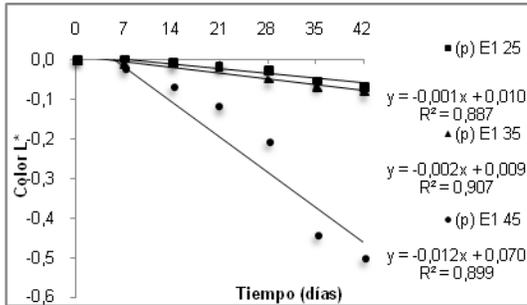


Comportamiento de la ecuación de Arrhenius para pulpa (p) para la cinética de contenido de humedad.

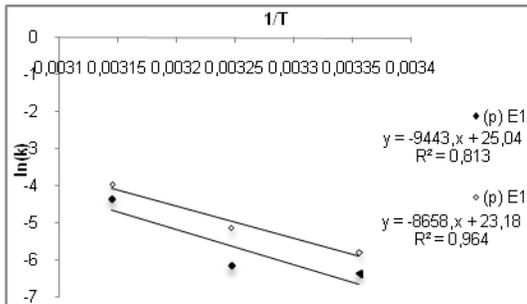
ACTIVIDAD DE AGUA ( $a_w$ )

Aumento de actividad de agua en función del tiempo (días) que obedeció a orden de reacción 0 en 25°C, 35°C y 45°C con una pendiente que es la velocidad específica de reacción ( $k$ ) para pulpa (p) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente).

COLOR L\*

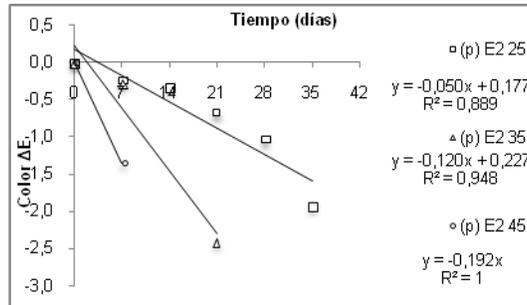
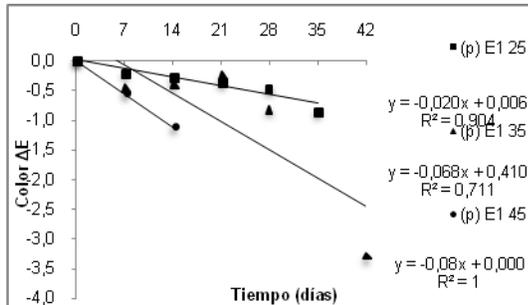


Aumento de luminosidad en función del tiempo (días) que obedeció a orden de reacción 1 en 25°C, 35°C y 45°C con una pendiente que es la velocidad específica de reacción (k) para pulpa (p) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente).

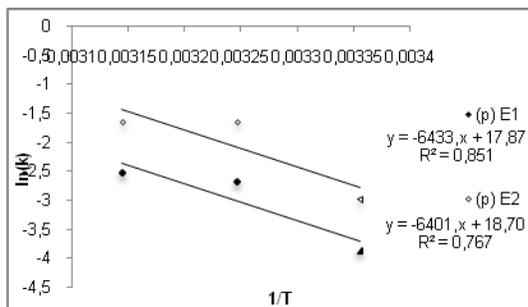


Comportamiento de la ecuación de Arrhenius para pulpa (p) para la cinética de luminosidad.

COLOR  $\Delta E^*$

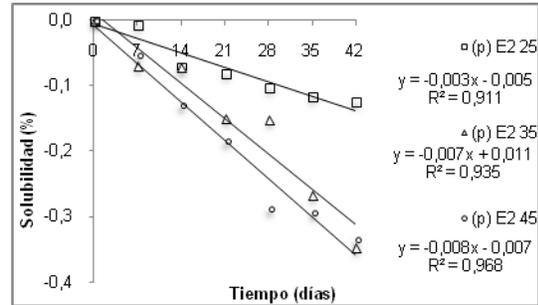
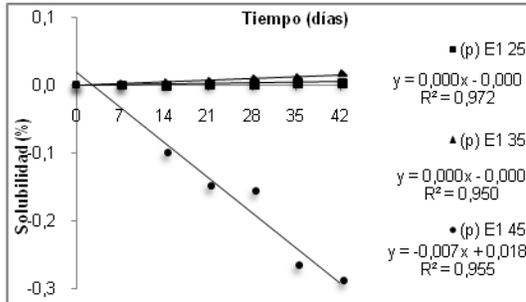


Aumento de diferencia de color total en función del tiempo (días) que obedeció a pseudo orden 1 en 25°C, 35°C y 45°C con una pendiente que es la velocidad específica de reacción (k) para pulpa (p) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente).

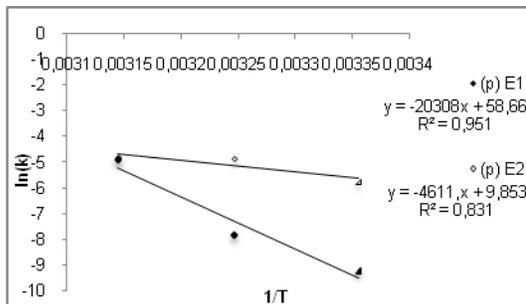


Comportamiento de la ecuación de Arrhenius para pulpa (p) para la cinética de diferencia de color total.

SOLUBILIDAD



Aumento de solubilidad en función del tiempo (días) que obedeció a orden de reacción 2 en 25°C, 35°C y orden de reacción 1 a 45°C con una pendiente que es la velocidad específica de reacción (k) para pulpa (p) empacada en E1 (BOPP laminado). Para las muestras empacadas en E2 (BOPP transparente) obedecieron a orden de reacción 1 en 25°C, 35°C y 45°C con una pendiente que es la velocidad específica de reacción (k).

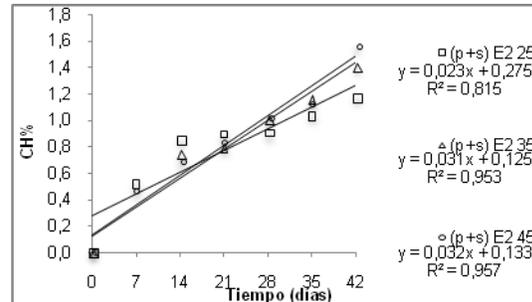
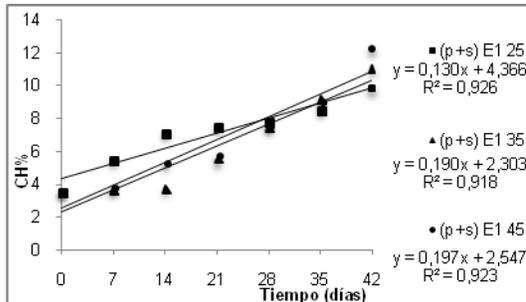


Comportamiento de la ecuación de Arrhenius para pulpa (p) para la cinética de solubilidad.

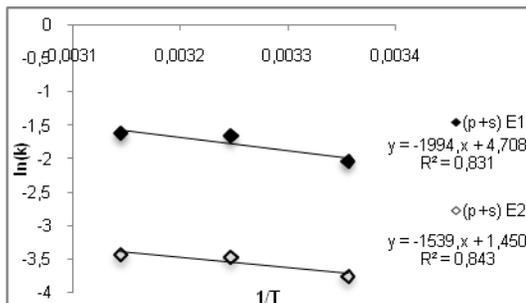


# ANEXO B. Determinación de orden de reacción para pulpa+semilla (p+s) por método integral

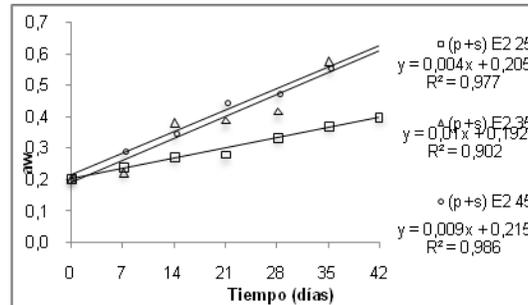
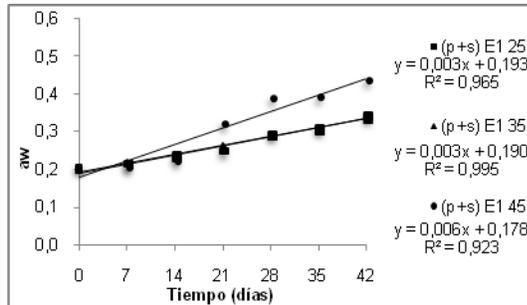
% CONTENIDO DE HUMEDAD



Aumento de contenido de humedad en función del tiempo (días) que obedeció a orden de reacción 0 en 25°C, 35°C y 45°C empaquetada en E1 (BOPP laminado) y orden de reacción 1 en 25°C, 35°C y 45°C para pulpa+semilla (p+s) empaquetada en E2 (BOPP transparente). La pendiente es la velocidad específica de reacción (k).

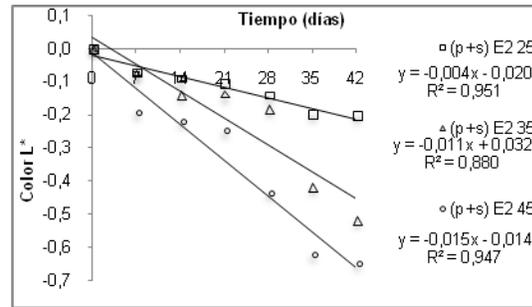
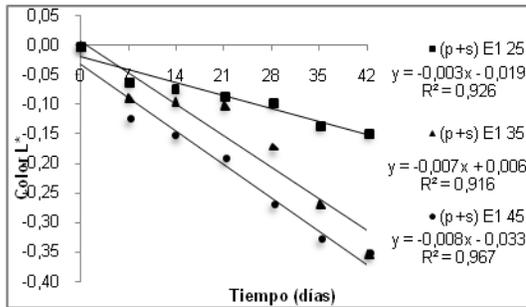


Comportamiento de la ecuación de Arrhenius para pulpa+semilla (p+s) para la cinética de contenido de humedad.

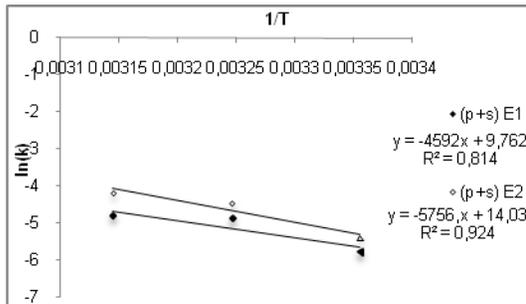
ACTIVIDAD DE AGUA ( $a_w$ )

Aumento de actividad de agua en función del tiempo (días) que obedeció a orden de reacción 0 en 25°C, 35°C y 45°C con una pendiente que es la velocidad específica de reacción ( $k$ ) para pulpa+semilla (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente).

COLOR L\*

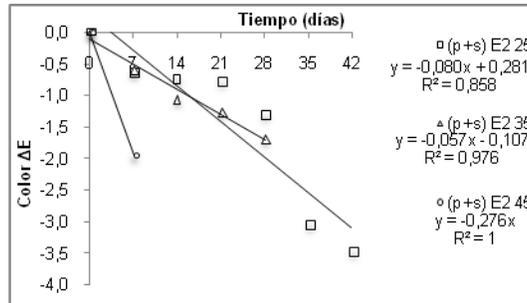
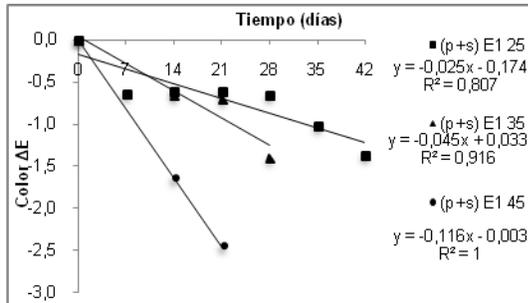


Aumento de luminosidad en función del tiempo (días) que obedeció a orden de reacción 1 en 25°C, 35°C y 45°C con una pendiente que es la velocidad específica de reacción (k) para pulpa+semilla (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente).

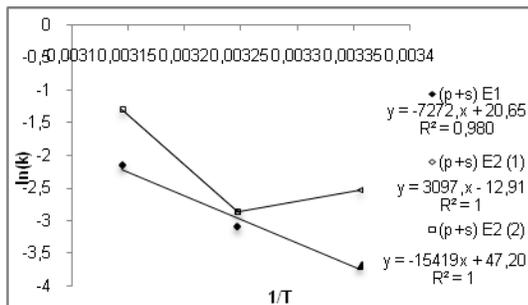


Comportamiento de la ecuación de Arrhenius para pulpa+semilla (p+s) para la cinética de luminosidad.

COLOR  $\Delta E^*$

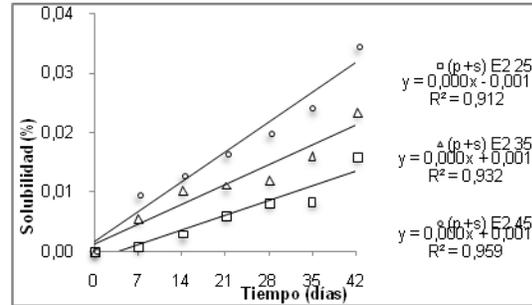
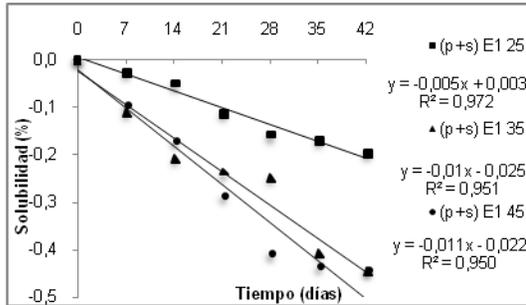


Aumento de diferencia de color total en función del tiempo (días) que obedeció a pseudo orden 1 en 25°C, 35°C y 45°C con una pendiente que es la velocidad específica de reacción (k) para pulpa+semilla (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado y E2 (BOPP transparente).

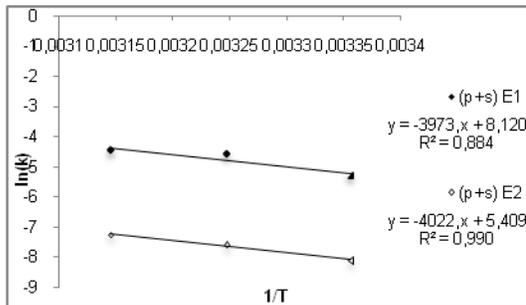


Comportamiento de la ecuación de Arrhenius para pulpa+semilla (p+s) para la cinética de diferencia de color total.

SOLUBILIDAD



Aumento de solubilidad en función del tiempo (días) que obedeció a orden de reacción 1 en 25°C, 35°C y 45°C para pulpa+semilla (p+s) empacada en E1 (BOPP laminado) orden de reacción 2 en 25°C, 35°C y 45°C para pulpa+semilla (p+s) empacada en E2 (BOPP transparente). La pendiente que es la velocidad específica de reacción (k).

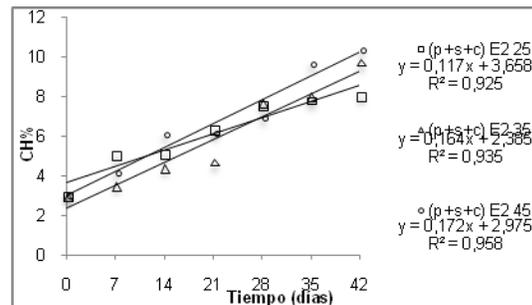
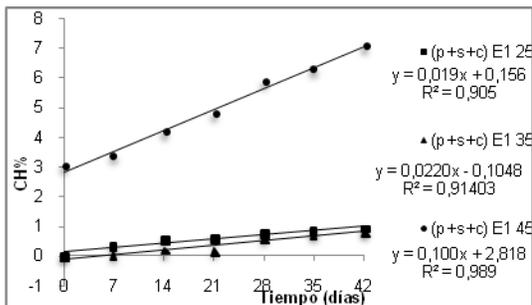


Comportamiento de la ecuación de Arrhenius para pulpa+semilla (p+s) para la cinética de solubilidad.

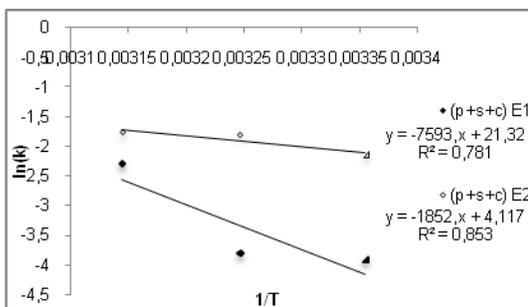


# ANEXO C. Determinación de orden de reacción para pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) por método integral

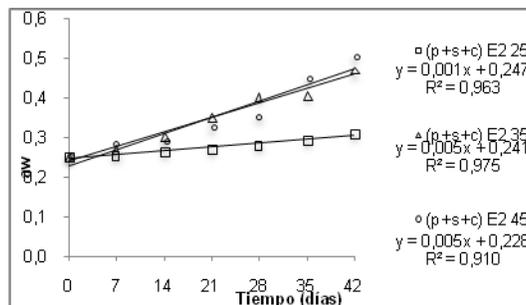
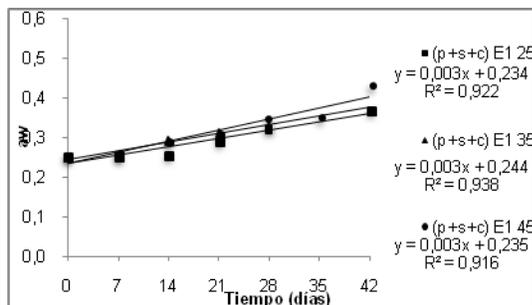
% CONTENIDO DE HUMEDAD



Aumento de contenido de humedad en función del tiempo (días) para pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) que obedeció a orden de reacción 1 en 25°C, 35°C y orden de reacción 0 en 45°C empaquetada en E1 (BOPP laminado) y orden de reacción 0 en 25°C, 35°C y 45°C empaquetada en E2 (BOPP transparente). La pendiente que es la velocidad específica de reacción (k).

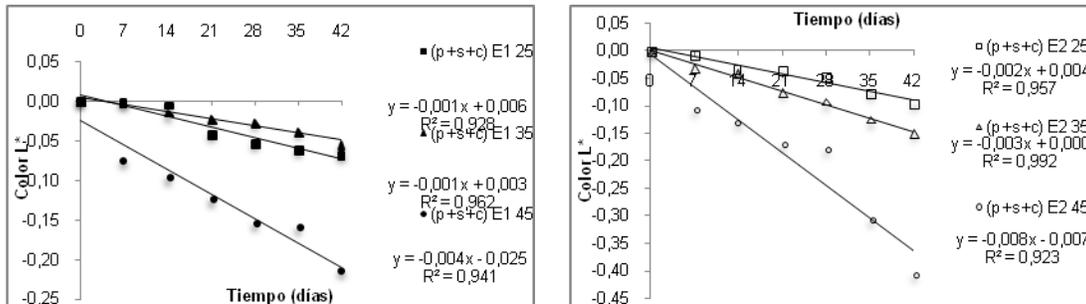


Comportamiento de la ecuación de Arrhenius para pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) para la cinética de contenido de humedad.

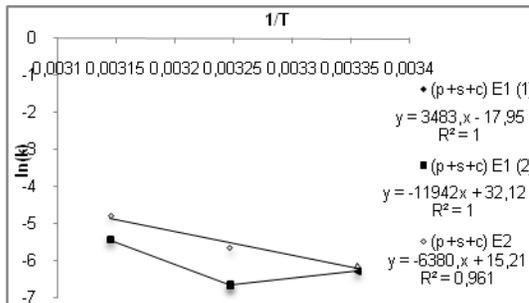
ACTIVIDAD DE AGUA ( $a_w$ )

Aumento de actividad de agua en función del tiempo (días) que obedeció a orden de reacción 0 en 25°C, 35°C y 45°C con una pendiente que es la velocidad específica de reacción ( $k$ ) para pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) empacada en E1 (BOPP laminado) y E2 (BOPP transparente).

COLOR L\*

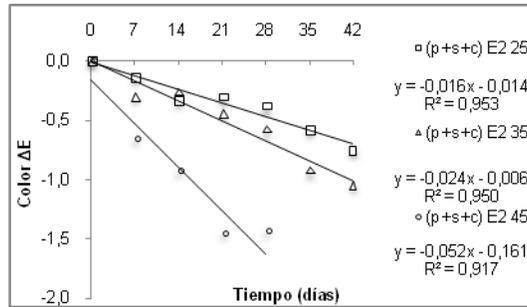
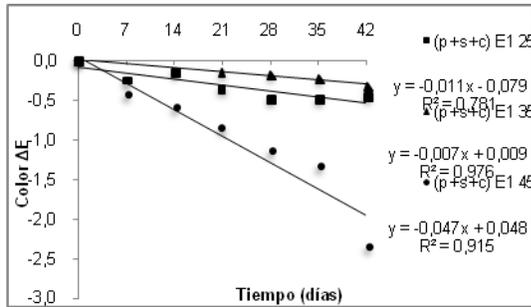


Aumento de luminosidad en función del tiempo (días) que obedeció a orden de reacción 1 en 25°C, 35°C y 45°C con una pendiente que es la velocidad específica de reacción (k) para pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) empacada en E1 (BOPP laminado) y empacada en E2 (BOPP transparente).

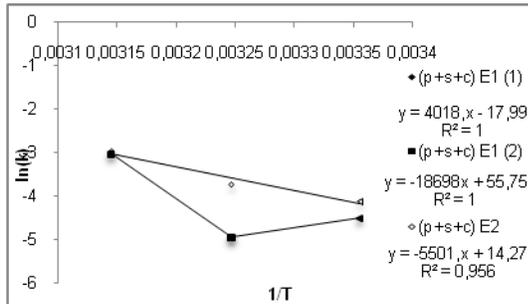


Comportamiento de la ecuación de Arrhenius para pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) para la cinética de luminosidad.

COLOR  $\Delta E^*$

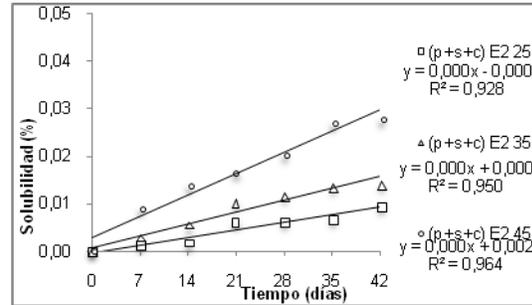
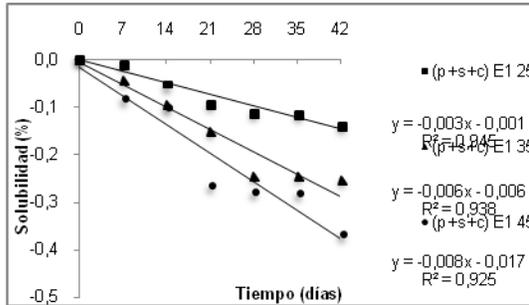


Aumento de diferencia de color total en función del tiempo (días) que obedeció a pseudo orden 1 en 25°C, 35°C y 45°C con una pendiente que es la velocidad específica de reacción (k) para pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) empacada en E1 (BOPP laminado) y empacada en E2 (BOPP transparente).

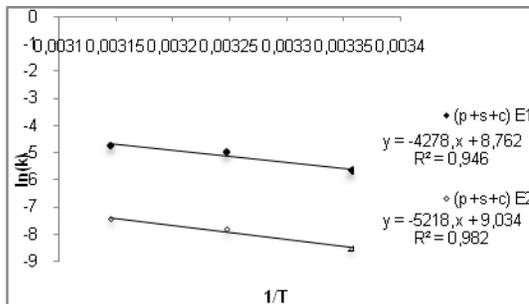


Comportamiento de la ecuación de Arrhenius para pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) para la cinética de diferencia de color total.

SOLUBILIDAD



Aumento de solubilidad en función del tiempo (días) para pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) empacada en E1 (BOPP laminado) obedeció a orden de reacción 1 en 25°C, 35°C y 45°C. Pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) empacada en E2 (BOPP transparente) respondió a orden de reacción 2 en 25°C, 35°C y 45°C. La pendiente es la velocidad específica de reacción (k).



Comportamiento de la ecuación de Arrhenius para pulpa+semilla+epidermis (p+s+c) para la cinética de solubilidad.



# ANEXO D. Soportes estadísticos

- EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE SEMILLAS Y EPIDERMIS DE COCONA, EN POLVOS ALIMENTARIOS DE COCONA (OBTENIDOS BAJO CONDICIONES ESTANDARIZADAS DE LIOFILIZACIÓN) SOBRE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS COMO CONTENIDO DE HUMEDAD, ACTIVIDAD DE AGUA, CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO, COLOR, SOLUBILIDAD Y REHIDRATACIÓN

## CONTENIDO DE HUMEDAD

TRAT	LIOFILIZACION	V1 LSMEAN	Error estándar	Pr >  t	Número LSMEAN
PULPA	NO	92.4266667	0.5125626	<.0001	1
PULPA	SI	4.2400000	0.5125626	<.0001	2
PULPA + SEMILLA	NO	91.3766667	0.5125626	<.0001	3
PULPA + SEMILLA	SI	3.5466667	0.5125626	<.0001	4
RODAJAS	NO	89.4733333	0.5125626	<.0001	5
RODAJAS	SI	2.9933333	0.5125626	<.0001	6

Medias de cuadrados mínimos para el efecto TRAT*LIOFILIZACION Pr >  t  para H0: MediaLS(i)=MediaLSn(j)						
Variable dependiente: V1						
i/j	1	2	3	4	5	6
1		<.0001	0.1731	<.0001	0.0015	<.0001
2	<.0001		<.0001	0.3577	<.0001	0.1111
3	0.1731	<.0001		<.0001	0.0221	<.0001
4	<.0001	0.3577	<.0001		<.0001	0.4600
5	0.0015	<.0001	0.0221	<.0001		<.0001
6	<.0001	0.1111	<.0001	0.4600	<.0001	

TRAT*LIOFILIZACION Efecto dividido por TRAT for V1					
TRAT	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
PULPA	1	11665	11665	14800.7	<.0001
PULPA + SEMILLA	1	11571	11571	14681.2	<.0001
RODAJAS	1	11218	11218	14233.4	<.0001

## ACTIVIDAD DE AGUA

TRAT	LIOFILIZACION	V2 LSMEAN	Error estándar	Pr >  t	Número LSMEAN
PULPA	NO	0.87333333	0.01239773	<.0001	1
PULPA	SI	0.28333333	0.01239773	<.0001	2
PULPA + SEMILLA	NO	0.87333333	0.01239773	<.0001	3
PULPA + SEMILLA	SI	0.20666667	0.01239773	<.0001	4
RODAJAS	NO	0.87666667	0.01239773	<.0001	5
RODAJAS	SI	0.25000000	0.01239773	<.0001	6

Medias de cuadrados mínimos para el efecto TRAT*LIOFILIZACION Pr >  t  para H0: MediaLS(i)=MediaLSn(j)						
Variable dependiente: V2						
i/j	1	2 si	3	4 si	5	6 si
1		<.0001	1.0000	<.0001	0.8524	<.0001
2 si	<.0001		<.0001	0.0009	<.0001	0.0816
3	1.0000	<.0001		<.0001	0.8524	<.0001
4 si	<.0001	0.0009	<.0001		<.0001	0.0294
5	0.8524	<.0001	0.8524	<.0001		<.0001
6 si	<.0001	0.0816	<.0001	0.0294	<.0001	

TRAT*LIOFILIZACION Efecto dividido por TRAT for V2					
TRAT	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
PULPA	1	0.522150	0.522150	1132.37	<.0001
PULPA + SEMILLA	1	0.666667	0.666667	1445.78	<.0001
RODAJAS	1	0.589067	0.589067	1277.49	<.0001

**CONTENIDO DE ACIDO ASCORBICO**

TRAT	LIOFILIZACION	V4 LSMEAN	Error estándar	Pr >  t	Número LSMEAN
PULPA	NO	77.500000	3.360308	<.0001	1
PULPA	SI	178.666667	3.360308	<.0001	2
PULPA + SEMILLA	NO	152.000000	3.360308	<.0001	3
PULPA + SEMILLA	SI	166.666667	3.360308	<.0001	4
RODAJAS	NO	142.000000	3.360308	<.0001	5
RODAJAS	SI	171.666667	3.360308	<.0001	6

Medias de cuadrados mínimos para el efecto TRAT*LIOFILIZACION Pr >  t  para H0: MediaLS(i)=MediaLSn(j)						
Variable dependiente: V4						
i/j	1	2	3	4	5	6
1		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
2	<.0001		0.0001	0.0267	<.0001	0.1665
3	<.0001	0.0001		0.0094	0.0571	0.0014
4	<.0001	0.0267	0.0094		0.0002	0.3135
5	<.0001	<.0001	0.0571	0.0002		<.0001
6	<.0001	0.1665	0.0014	0.3135	<.0001	

TRAT*LIOFILIZACION Efecto dividido por TRAT for V4					
TRAT	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
PULPA	1	15352	15352	453.20	<.0001
PULPA + SEMILLA	1	322.666667	322.666667	9.53	0.0094
RODAJAS	1	1320.166667	1320.166667	38.97	<.0001

**COLOR L\***

TRAT	LIOFILIZACION	V7 LSMEAN	Error estándar	Pr >  t	Número LSMEAN
PULPA	NO	40.7066667	0.2499704	<.0001	1
PULPA	SI	78.4100000	0.2499704	<.0001	2
PULPA + SEMILLA	NO	39.8333333	0.2499704	<.0001	3
PULPA + SEMILLA	SI	84.2400000	0.2499704	<.0001	4
RODAJAS	NO	40.2366667	0.2499704	<.0001	5
RODAJAS	SI	82.1466667	0.2499704	<.0001	6

Medias de cuadrados mínimos para el efecto TRAT*LIOFILIZACION Pr >  t  para H0: MediaLS(i)=MediaLSn(j)						
Variable dependiente: V7						
i/j	1	2	3	4	5	6
1		<.0001	0.0295	<.0001	0.2084	<.0001
2	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
3	0.0295	<.0001		<.0001	0.2762	<.0001
4	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001
5	0.2084	<.0001	0.2762	<.0001		<.0001
6	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	

TRAT*LIOFILIZACION Efecto dividido por TRAT for V7					
TRAT	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
PULPA	1	2132.312017	2132.312017	11375.0	<.0001
PULPA + SEMILLA	1	2957.928067	2957.928067	15779.4	<.0001
RODAJAS	1	2634.672150	2634.672150	14054.9	<.0001

**COLOR h<sub>ab</sub>**

TRAT	LIOFILIZACION	V1 TONO LSMEAN	Error estándar	Pr >  t	Número LSMEAN
1	0	0.76566667	0.00970204	<.0001	1
1	1	1.47133333	0.00970204	<.0001	2
2	0	0.75966667	0.00970204	<.0001	3
2	1	1.56633333	0.00970204	<.0001	4
3	0	0.86000000	0.00970204	<.0001	5
3	1	1.56000000	0.00970204	<.0001	6

Medias de cuadrados mínimos para el efecto TRAT*LIOFILIZACION Pr >  t  para H0: MediaLS(i)=MediaLSn(j)						
Variable dependiente: V1						
i/j	1	2	3	4	5	6
1		<.0001	0.6697	<.0001	<.0001	<.0001
2	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
3	0.6697	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001
4	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	0.6526
5	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001
6	<.0001	<.0001	<.0001	0.6526	<.0001	

TRAT*LIOFILIZACION Efecto dividido por TRAT para V1					
TRAT	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
1	1	0.746948	0.746948	2645.10	<.0001
2	1	0.976067	0.976067	3456.46	<.0001
3	1	0.735000	0.735000	2602.79	<.0001

**COLOR C\***

TRAT	LIOFILIZACION	V2 CROMA LSMEAN	Error estándar	Pr >  t	Número LSMEAN
1	0	4.6516667	0.2299673	<.0001	1
1	1	31.4233333	0.2299673	<.0001	2
2	0	4.7360000	0.2299673	<.0001	3
2	1	28.1503333	0.2299673	<.0001	4
3	0	6.3613333	0.2299673	<.0001	5
3	1	33.6220000	0.2299673	<.0001	6

Medias de cuadrados mínimos para el efecto TRAT*LIOFILIZACION Pr >  t  para H0: MediaLS(i)=MediaLSn(j)						
Variable dependiente: V2						
i/j	1	2	3	4	5	6
1		<.0001	0.7998	<.0001	0.0002	<.0001

Medias de cuadrados mínimos para el efecto TRAT*LIOFILIZACION Pr >  t  para H0: MediaLS(i)=MediaLSn(j)						
Variable dependiente: V2						
i/j	1	2	3	4	5	6
2	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
3	0.7998	<.0001		<.0001	0.0003	<.0001
4	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001
5	0.0002	<.0001	0.0003	<.0001		<.0001
6	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	

TRAT*LIOFILIZACION Efecto dividido por TRAT para V2					
TRAT	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
1	1	1075.083204	1075.083204	6776.24	<.0001
2	1	822.346508	822.346508	5183.24	<.0001
3	1	1114.715921	1114.715921	7026.04	<.0001

**COLOR ΔE\***

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	32.20886067	16.10443033	35.38	0.0005
Error	6	2.73085333	0.45514222		
Total corregido	8	34.93971400			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	V3 Media
0.921841	1.358368	0.674642	49.66567

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	2	32.20886067	16.10443033	35.38	0.0005

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	2	32.20886067	16.10443033	35.38	0.0005

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	6
Error de cuadrado medio	0.455142
Valor crítico del rango estudentizado	4.33920
Diferencia significativa mínima	1.6901

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.			
Tukey Agrupamiento	Media	N	TRAT
A	51.0127	3	2
A			
A	50.9940	3	3
B	46.9903	3	1

**SOLUBILIDAD**

Bienvenido a Minitab.

**ANOVA unidireccional: Pulpa y semilla; Rodaja; Pulpa.**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	2	19.249	9.625	61.90	0.000
Error	6	0.933	0.155		
Total	8	20.182			

S = 0.3943 R-cuad. = 95.38% R-cuad.(ajustado) = 93.84%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
Pulpa.	3	24.8933	A
Puloa y semilla	3	21.8300	B
Rodaja	3	21.7533	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 97.80%

2.

## 3. ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE COCONA EN POLVO EN CONDICIONES ACELERADAS DE ALMACENAMIENTO

## DETERMINACIÓN DE ORDEN DE REACCIÓN PARA PULPA (p) POR METODO INTEGRAL.

## % CONTENIDO DE HUMEDAD

POLYMATH Report  
Linear Regression

(p) E1 25

Model:  $CH = a_0 + a_1 \cdot t$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	4,623571	1,02682
a1	0,185	0,0406841

## General

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

## Statistics

R <sup>2</sup>	0,9647087
R <sup>2</sup> adj	0,9576504
Rmsd	0,1872347
Variance	0,3435571

(p) E2 25

Model:  $CH = a_0 + a_1 \cdot t$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	5,128571	1,490257
a1	0,1930612	0,0590461

## General

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

## Statistics

R <sup>2</sup>	0,9339202
R <sup>2</sup> adj	0,9207043
Rmsd	0,2717399
Variance	0,7236571

POLYMATH Report  
Linear Regression

(p) E1 35

Model:  $CH = a_0 + a_1 \cdot t$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	3,211786	1,476661
a1	0,1863776	0,0585075

## General

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

## Statistics

R <sup>2</sup>	0,930629
R <sup>2</sup> adj	0,9167549
Rmsd	0,2692608
Variance	0,7105136

(p) E2 35

Model:  $CH = a_0 + a_1 \cdot t$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	3,811071	0,7628847
a1	0,2252551	0,0302266

## General

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

## Statistics

R <sup>2</sup>	0,9865625
R <sup>2</sup> adj	0,983875
Rmsd	0,1391077
Variance	0,1896393

POLYMATH Report  
Linear Regression

(p) E1 45

Model:  $CH = a_0 + a_1 \cdot t$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	2,575333	1,480255
a1	0,1956327	0,0542992

## General

Regression including a free parameter  
Number of observations = 6

## Statistics

R <sup>2</sup>	0,9615499
R <sup>2</sup> adj	0,9519374
Rmsd	0,1909281
Variance	0,3280819

(p) E2 45

Model:  $CH = a_0 + a_1 \cdot t$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	4,175	0,6779098
a1	0,1556122	0,0268598

## General

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

## Statistics

R <sup>2</sup>	0,9779604
R <sup>2</sup> adj	0,9735525
Rmsd	0,123613
Variance	0,1497457

ACTIVIDAD DE AGUA (aw)

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p) E1 25

**Model:**  $aw = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,2741071	0,015885
a1	0,0019133	0,0006294

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9243374
R <sup>2</sup> adj	0,9092049
Rmsd	0,0028965
Variance	8,22E-05

(p) E2 25

**Model:**  $aw = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,2601429	0,0371928
a1	0,0053265	0,0014736

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9452716
R <sup>2</sup> adj	0,934326
Rmsd	0,0067819
Variance	0,0004507

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p) E1 35

**Model:**  $aw = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,2732143	0,0278143
a1	0,0028265	0,001102

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,8968697
R <sup>2</sup> adj	0,8762437
Rmsd	0,0050718
Variance	0,0002521

(p) E2 35

**Model:**  $aw = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,2784643	0,0243387
a1	0,0053724	0,0009643

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9762086
R <sup>2</sup> adj	0,9714504
Rmsd	0,004438
Variance	0,000193

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p) E1 45

**Model:**  $aw = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,2896786	0,0167397
a1	0,0033827	0,0006633

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,971741
R <sup>2</sup> adj	0,9660892
Rmsd	0,0030524
Variance	9,13E-05

(p) E2 45

**Model:**  $aw = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,256	0,0626206
a1	0,0056735	0,0022971

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 6

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9215836
R <sup>2</sup> adj	0,9019795
Rmsd	0,008077
Variance	0,0005871

## COLOR L\*

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p) E1 25

**Model:**  $L = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0109179	0,017304
a1	0,0016709	0,0006856

**General**  
Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,887034
R <sup>2</sup> adj	0,8644408
Rmsd	0,0031553
Variance	9,76E-05

(p) E2 25

**Model:**  $L = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0189821	0,0241854
a1	0,0030883	0,0009583

**General**  
Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9321152
R <sup>2</sup> adj	0,9185382
Rmsd	0,0044101
Variance	0,0001906

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p) E1 35

**Model:**  $L = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0094607	0,0193668
a1	0,0020934	0,0007673

**General**  
Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9077398
R <sup>2</sup> adj	0,8892878
Rmsd	0,0035314
Variance	0,0001222

(p) E2 35

**Model:**  $L = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,000375	0,0393014
a1	0,0058607	0,0015572

**General**  
Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9493069
R <sup>2</sup> adj	0,9391683
Rmsd	0,0071664
Variance	0,0005033

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p) E1 45

**Model:**  $L = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0708036	0,1233146
a1	0,0127036	0,0048859

**General**  
Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,899367
R <sup>2</sup> adj	0,8792404
Rmsd	0,0224857
Variance	0,004955

(p) E2 45

**Model:**  $L = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0861286	0,1919814
a1	-0,019402	0,0076066

**General**  
Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,8958444
R <sup>2</sup> adj	0,8750133
Rmsd	0,0350067
Variance	0,0120096

**COLOR ΔE\***

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p) E1 25

**Model:** AE = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0060387	0,1993304
a1	-0,0208237	0,0094052

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 6

**Statistics**

R^2	0,904251
R^2adj	0,8803137
Rmsd	0,0330709
Variance	0,0098432

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p) E1 35

**Model:** AE = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	0,410925	1,400191
a1	-0,0681666	0,0603105

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 6

**Statistics**

R^2	0,7110782
R^2adj	0,6388477
Rmsd	0,2448717
Variance	0,5396592

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p) E1 45

**Model:** AE = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0002032	0,0057727
a1	-0,0800394	0,0006388

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 3

**Statistics**

R^2	0,9999996
R^2adj	0,9999992
Rmsd	0,0001659
Variance	2,48E-07

(p) E2 25

**Model:** AE = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	0,1771908	0,5239054
a1	-0,0506369	0,02472

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 6

**Statistics**

R^2	0,8899139
R^2adj	0,8623924
Rmsd	0,0869211
Variance	0,0679976

(p) E2 35

**Model:** AE = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	0,2271549	4,563889
a1	-0,1201254	0,3571064

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 3

**Statistics**

R^2	0,9481084
R^2adj	0,8962168
Rmsd	0,1416559
Variance	0,1805977

(p) E2 45

**Model:** AE = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	-7,49E-17	0
a1	-0,1927141	0

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 2

**Statistics**

R^2	1
R^2adj	0
Rmsd	3,74E-17
Variance	1,00E+99

**SOLUBILIDAD****POLYMATH Report**

Linear Regression

(p) E1 25

**Model:**  $S = a_0 + a_1 \cdot t$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0005536	0,0006606
a1	0,0001311	2,62E-05

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 7**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9707378
R <sup>2</sup> adj	0,9648854
Rmsd	0,0001205
Variance	1,42E-07

(p) E2 25

**Model:**  $S = a_0 + a_1 \cdot t$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0055357	0,028703
a1	0,0031643	0,0011373

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 7**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,910989
R <sup>2</sup> adj	0,8931868
Rmsd	0,0052338
Variance	0,0002685

**POLYMATH Report**

Linear Regression

(p) E1 35

**Model:**  $S = a_0 + a_1 \cdot t$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0005857	0,0024761
a1	0,0003714	9,81E-05

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 7**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9498738
R <sup>2</sup> adj	0,9398486
Rmsd	0,0004515
Variance	2,00E-06

(p) E2 35

**Model:**  $S = a_0 + a_1 \cdot t$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0116571	0,0589376
a1	0,0077306	0,0023352

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 7**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9354349
R <sup>2</sup> adj	0,9225219
Rmsd	0,0107469
Variance	0,0011319

**POLYMATH Report**

Linear Regression

(p) E1 45

**Model:**  $S = a_0 + a_1 \cdot t$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0181893	0,0464177
a1	0,0074077	0,0018391

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 7**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9554507
R <sup>2</sup> adj	0,9465408
Rmsd	0,008464
Variance	0,0007021

(p) E2 45

**Model:**  $S = a_0 + a_1 \cdot t$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0079321	0,0435364
a1	-0,008374	0,001725

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 7**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9689009
R <sup>2</sup> adj	0,9626811
Rmsd	0,0079386
Variance	0,0006176

**DETERMINACIÓN DE ORDEN DE REACCIÓN PARA PULPA+SEMILLA (p+s) POR METODO INTEGRAL.**

**% CONTENIDO DE HUMEDAD**

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s) E1 25

**Model:** CH = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	4,368214	1,059785
a1	0,1301531	0,0419902

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R^2	0,927014
R^2adj	0,9124168
Rmsd	0,1932458
Variance	0,3659707

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s) E1 35

**Model:** CH = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	2,307143	1,647838
a1	0,1904082	0,0652897

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R^2	0,9183265
R^2adj	0,9019918
Rmsd	0,3004739
Variance	0,8847886

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s) E1 45

**Model:** CH = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	2,5475	1,652067
a1	0,1978061	0,0654573

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R^2	0,9235036
R^2adj	0,9082043
Rmsd	0,3012451
Variance	0,8893364

(p+s) E2 25

**Model:** CH = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	0,2760714	0,3232101
a1	0,0235204	0,0128061

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R^2	0,8168355
R^2adj	0,7802026
Rmsd	0,0589355
Variance	0,0340393

(p+s) E2 35

**Model:** CH = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	0,1264286	0,2620243
a1	0,0312245	0,0096649

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 6

**Statistics**

R^2	0,9526251
R^2adj	0,9407814
Rmsd	0,0392413
Variance	0,0138589

(p+s) E2 45

**Model:** CH = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	0,1325	0,1954753
a1	0,032398	0,007745

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R^2	0,9585623
R^2adj	0,9502748
Rmsd	0,0356438
Variance	0,0124507

**ACTIVIDAD DE AGUA (aw)****POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s) E1 25

**Model:**  $aw = a_0 + a_1 \cdot t$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	0,1932857	0,0187934
a1	0,0033878	0,0007446

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 7**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9647446
R <sup>2</sup> adj	0,9576935
Rmsd	0,0034269
Variance	0,0001151

(p+s) E2 25

**Model:**  $aw = a_0 + a_1 \cdot t$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	0,2049286	0,0206454
a1	0,0046224	0,000818

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 7**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9768601
R <sup>2</sup> adj	0,9722321
Rmsd	0,0037646
Variance	0,0001389

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s) E1 35

**Model:**  $aw = a_0 + a_1 \cdot t$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	0,1926667	0,0094366
a1	0,0034286	0,0003462

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 6**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9947368
R <sup>2</sup> adj	0,9934211
Rmsd	0,0012172
Variance	1,33E-05

(p+s) E2 35

**Model:**  $aw = a_0 + a_1 \cdot t$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	0,1971429	0,0949676
a1	0,0098776	0,004481

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 6**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9034866
R <sup>2</sup> adj	0,8793582
Rmsd	0,0157561
Variance	0,0022343

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s) E1 45

**Model:**  $aw = a_0 + a_1 \cdot t$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	0,17825	0,0522891
a1	0,0062602	0,0020718

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 7**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9234924
R <sup>2</sup> adj	0,9081909
Rmsd	0,0095346
Variance	0,0008909

(p+s) E2 45

**Model:**  $aw = a_0 + a_1 \cdot t$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	0,2195238	0,0363656
a1	0,009551	0,0017159

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 6**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9835229
R <sup>2</sup> adj	0,9794037
Rmsd	0,0060334
Variance	0,0003276

**COLOR L\***

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s) E1 25

**Model:**  $L = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0197357	0,025649
a1	0,0031296	0,0010162

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9261309
R <sup>2</sup> adj	0,911357
Rmsd	0,0046769
Variance	0,0002144

(p+s) E2 25

**Model:**  $L = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	-0,02025	0,0299602
a1	0,0045643	0,0011871

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9513258
R <sup>2</sup> adj	0,941591
Rmsd	0,0054631
Variance	0,0002925

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s) E1 35

**Model:**  $L = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0066286	0,0668141
a1	0,0076204	0,0026473

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9163498
R <sup>2</sup> adj	0,8996197
Rmsd	0,0121832
Variance	0,0014546

(p+s) E2 35

**Model:**  $L = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,03265	0,1237942
a1	0,0115602	0,0049049

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,8801465
R <sup>2</sup> adj	0,8561758
Rmsd	0,0225732
Variance	0,0049936

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s) E1 45

**Model:**  $L = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0329393	0,0432563
a1	0,0080811	0,0017139

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9670958
R <sup>2</sup> adj	0,960515
Rmsd	0,0078875
Variance	0,0006097

(p+s) E2 45

**Model:**  $L = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0143571	0,1055187
a1	0,0153776	0,0041808

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9470479
R <sup>2</sup> adj	0,9364575
Rmsd	0,0192407
Variance	0,003628

**COLOR ΔE\*****POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s) E1 25

**Model:** AE = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	-0,1746419	0,3546334
a1	-0,0250043	0,0140511

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations  
= 7**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,807189
R <sup>2</sup> adj	0,7686267
Rmsd	0,0646654
Variance	0,0409798

(p+s) E2 25

**Model:** AE = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	0,2815134	0,9455569
a1	-0,0803406	0,0374643

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 7**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,8587472
R <sup>2</sup> adj	0,8304966
Rmsd	0,1724169
Variance	0,2913304

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s) E1 35

**Model:** AE = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0334858	0,7906134
a1	-0,0457508	0,0419466

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations  
= 4**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9167587
R <sup>2</sup> adj	0,8751381
Rmsd	0,0713646
Variance	0,0407432

(p+s) E2 35

**Model:** AE = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	-0,107191	0,2830118
a1	-0,0572715	0,0165056

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 5**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9759814
R <sup>2</sup> adj	0,9679752
Rmsd	0,0397758
Variance	0,0131843

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s) E1 45

**Model:** AE = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	-0,0032637	0,1495295
a1	-0,1164612	0,0102617

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations  
= 3**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9999519
R <sup>2</sup> adj	0,9999038
Rmsd	0,0040706
Variance	0,0001491

(p+s) E2 45

**Model:** AE = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	-1,08E-16	0
a1	-0,2765516	0

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 2**Statistics**

R <sup>2</sup>	1
R <sup>2</sup> adj	0
Rmsd	1,23E-16
Variance	1,00E+99

**SOLUBILIDAD**

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s) E1 25

**Model:**  $S = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0030821	0,024549
a1	0,0050107	0,0009727

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9722866
R <sup>2</sup> adj	0,9667439
Rmsd	0,0044764
Variance	0,0001964

(p+s) E2 25

**Model:**  $S = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	-0,001275	0,0031214
a1	0,0003485	0,0001237

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9130087
R <sup>2</sup> adj	0,8956104
Rmsd	0,0005692
Variance	3,18E-06

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s) E1 35

**Model:**  $S = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0253429	0,0653263
a1	0,0100245	0,0025883

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9519922
R <sup>2</sup> adj	0,9423907
Rmsd	0,0119119
Variance	0,0013906

(p+s) E2 35

**Model:**  $S = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0012179	0,0037507
a1	0,000476	0,0001486

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,931339
R <sup>2</sup> adj	0,9176068
Rmsd	0,0006839
Variance	4,58E-06

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s) E1 45

**Model:**  $S = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0224964	0,0760843
a1	0,0114709	0,0030146

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9503516
R <sup>2</sup> adj	0,940422
Rmsd	0,0138735
Variance	0,0018863

(p+s) E2 45

**Model:**  $S = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0016893	0,004232
a1	0,0007148	0,0001677

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9600377
R <sup>2</sup> adj	0,9520453
Rmsd	0,0007717
Variance	5,84E-06

## DETERMINACIÓN DE ORDEN DE REACCIÓN PARA PULPA+SEMILLA+EPIDERMIS (p+s+c) POR METODO INTEGRAL.

### % CONTENIDO DE HUMEDAD

#### POLYMATH Report Linear Regression

(p+s+c) E1  
25

**Model:** CH = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	0,1542857	0,1840208
a1	0,02	0,0072912

#### General

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

#### Statistics

R <sup>2</sup>	0,9086523
R <sup>2</sup> adj	0,8903827
Rmsd	0,0335551
Variance	0,0110343

(p+s+c) E2  
25

**Model:** CH = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	3,656071	0,9658157
a1	0,1171939	0,038267

#### General

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

#### Statistics

R <sup>2</sup>	0,9253689
R <sup>2</sup> adj	0,9104426
Rmsd	0,176111
Variance	0,3039479

#### POLYMATH Report Linear Regression

(p+s+c) E1  
35

**Model:** CH = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	-0,1075	0,1943506
a1	0,0219898	0,0077005

#### General

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

#### Statistics

R <sup>2</sup>	0,9151149
R <sup>2</sup> adj	0,8981379
Rmsd	0,0354387
Variance	0,0123079

(p+s+c) E2  
35

**Model:** CH = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	2,383571	1,250543
a1	0,1645918	0,0495483

#### General

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

#### Statistics

R <sup>2</sup>	0,9358477
R <sup>2</sup> adj	0,9230173
Rmsd	0,2280293
Variance	0,5095743

#### POLYMATH Report Linear Regression

(p+s+c) E1  
45

**Model:** CH = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	2,816071	0,2961411
a1	0,1004592	0,0117335

#### General

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

#### Statistics

R <sup>2</sup>	0,9897862
R <sup>2</sup> adj	0,9877435
Rmsd	0,0539996
Variance	0,0285764

(p+s+c) E2  
45

**Model:** CH = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	2,974286	1,045467
a1	0,1726531	0,0414229

#### General

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

#### Statistics

R <sup>2</sup>	0,9582757
R <sup>2</sup> adj	0,9499308
Rmsd	0,190635
Variance	0,3561486

**ACTIVIDAD DE AGUA (aw)**

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s+c) E1  
25

**Model:**  $aw = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,2467143	0,0078568
a1	0,0013673	0,0003113

**General**  
Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9622722
R <sup>2</sup> adj	0,9547267
Rmsd	0,0014326
Variance	2,01E-05

(p+s+c) E2  
25

**Model:**  $aw = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,2328571	0,0278285
a1	0,0032449	0,0011026

**General**  
Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,919677
R <sup>2</sup> adj	0,9036124
Rmsd	0,0050744
Variance	0,0002523

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s+c) E1  
35

**Model:**  $aw = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,2446	0,0248563
a1	0,0031286	0,0014496

**General**  
Regression including a free parameter  
Number of observations = 5

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9401905
R <sup>2</sup> adj	0,9202541
Rmsd	0,0034934
Variance	0,0001017

(p+s+c) E2  
35

**Model:**  $aw = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,24175	0,0243063
a1	0,0051888	0,000963

**General**  
Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9746042
R <sup>2</sup> adj	0,9695251
Rmsd	0,0044321
Variance	0,0001925

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s+c) E1  
45

**Model:**  $aw = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,23575	0,0346262
a1	0,0039439	0,0013719

**General**  
Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9161408
R <sup>2</sup> adj	0,8993689
Rmsd	0,0063139
Variance	0,0003907

(p+s+c) E2  
45

**Model:**  $aw = a_0 + a_1 \cdot t$

Variable	Value	95% confidence
a0	0,2283571	0,0529897
a1	0,0058469	0,0020995

**General**  
Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R <sup>2</sup>	0,9111341
R <sup>2</sup> adj	0,8933609
Rmsd	0,0096624
Variance	0,0009149

**COLOR L\*****POLYMATH Report**  
Linear Regression(p+s+c) E1  
25**Model:** L = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	0,006675	0,0151753
a1	0,0018872	0,0006013

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 7**Statistics**

R^2	0,9286953
R^2adj	0,9144343
Rmsd	0,0027671
Variance	7,50E-05

(p+s+c) E2  
25**Model:** L = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0045429	0,0137238
a1	0,0022327	0,0005438

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 7**Statistics**

R^2	0,9570588
R^2adj	0,9484706
Rmsd	0,0025025
Variance	6,14E-05

**POLYMATH Report**  
Linear Regression(p+s+c) E1  
35**Model:** L = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0035893	0,0072482
a1	0,0012648	0,0002872

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 7**Statistics**

R^2	0,9624653
R^2adj	0,9549584
Rmsd	0,0013217
Variance	1,71E-05

(p+s+c) E2  
35**Model:** L = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0006321	0,0092406
a1	0,0035444	0,0003661

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 7**Statistics**

R^2	0,9919933
R^2adj	0,990392
Rmsd	0,001685
Variance	2,78E-05

**POLYMATH Report**  
Linear Regression(p+s+c) E1  
45**Model:** L = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	-0,025275	0,0319184
a1	0,0044168	0,0012647

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 7**Statistics**

R^2	0,9416077
R^2adj	0,9299292
Rmsd	0,0058201
Variance	0,000332

(p+s+c) E2  
45**Model:** L = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0073286	0,0711224
a1	0,0085347	0,002818

**General**Regression including a free parameter  
Number of observations = 7**Statistics**

R^2	0,9238183
R^2adj	0,908582
Rmsd	0,0129688
Variance	0,0016483

**COLOR ΔE\***

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s+c) E1  
25

**Model:** AE = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	-0,0794143	0,16828
a1	-0,0109705	0,0066675

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations  
= 7

**Statistics**

R^2	0,781613
R^2adj	0,7379356
Rmsd	0,0306849
Variance	0,0092273

(p+s+c) E2 25

**Model:** AE = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	-0,0147263	0,1051213
a1	-0,0163133	0,0041651

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R^2	0,9530082
R^2adj	0,9436099
Rmsd	0,0191683
Variance	0,0036007

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s+c) E1  
35

**Model:** AE = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0097107	0,0584965
a1	-0,0071157	0,002015

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations  
= 5

**Statistics**

R^2	0,9767928
R^2adj	0,9690571
Rmsd	0,0070701
Variance	0,0004165

(p+s+c) E2 35

**Model:** AE = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	-0,006636	0,1587057
a1	-0,0239526	0,0062881

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 7

**Statistics**

R^2	0,9504508
R^2adj	0,9405409
Rmsd	0,0289391
Variance	0,0082072

**POLYMATH Report**  
Linear Regression

(p+s+c) E1  
45

**Model:** AE = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	0,0480807	0,422489
a1	-0,0479339	0,0167396

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations  
= 7

**Statistics**

R^2	0,9155402
R^2adj	0,8986483
Rmsd	0,0770385
Variance	0,0581623

(p+s+c) E2 45

**Model:** AE = a0 + a1\*t

Variable	Value	95% confidence
a0	-0,1615298	0,4921313
a1	-0,0522526	0,0287017

**General**

Regression including a free parameter  
Number of observations = 5

**Statistics**

R^2	0,9179395
R^2adj	0,890586
Rmsd	0,0691665
Variance	0,0398667

**SOLUBILIDAD**

POLYMATH Report Linear Regression			POLYMATH Report Linear Regression			POLYMATH Report Linear Regression		
(p+s+c) E1 25			(p+s+c) E1 35			(p+s+c) E1 45		
<b>Model:</b> S = a0 + a1*t			<b>Model:</b> S = a0 + a1*t			<b>Model:</b> S = a0 + a1*t		
Variable	Value	95% confidence	Variable	Value	95% confidence	Variable	Value	95% confidence
a0	0,0014464	0,0240468	a0	0,0062429	0,0496297	a0	0,0175179	0,070658
a1	0,0034719	0,0009528	a1	-0,006702	0,0019664	a1	0,0085577	0,0027996
<b>General</b> Regression including a free parameter Number of observations = 7			<b>General</b> Regression including a free parameter Number of observations = 7			<b>General</b> Regression including a free parameter Number of observations = 7		
<b>Statistics</b>			<b>Statistics</b>			<b>Statistics</b>		
R^2	0,9461064		R^2	0,9388639		R^2	0,9251086	
R^2adj	0,9353277		R^2adj	0,9266367		R^2adj	0,9101303	
Rmsd	0,0043848		Rmsd	0,0090497		Rmsd	0,0128841	
Variance	0,0001884		Variance	0,0008026		Variance	0,0016268	
(p+s+c) E2 25			(p+s+c) E2 35			(p+s+c) E2 45		
<b>Model:</b> S = a0 + a1*t			<b>Model:</b> S = a0 + a1*t			<b>Model:</b> S = a0 + a1*t		
Variable	Value	95% confidence	Variable	Value	95% confidence	Variable	Value	95% confidence
a0	0,0002643	0,0018452	a0	0,0006714	0,0023417	a0	0,0027821	0,0035615
a1	0,0002276	7,31E-05	a1	0,0003571	9,28E-05	a1	0,0006403	0,0001411
<b>General</b> Regression including a free parameter Number of observations = 7			<b>General</b> Regression including a free parameter Number of observations = 7			<b>General</b> Regression including a free parameter Number of observations = 7		
<b>Statistics</b>			<b>Statistics</b>			<b>Statistics</b>		
R^2	0,9275722		R^2	0,9514268		R^2	0,964564	
R^2adj	0,9130866		R^2adj	0,9417121		R^2adj	0,9574768	
Rmsd	0,0003365		Rmsd	0,000427		Rmsd	0,0006494	
Variance	1,11E-06		Variance	1,79E-06		Variance	4,13E-06	

## LINEALIZACIÓN PARA OBTENER LA ENERGIA DE ACTIVACIÓN (Ea) PARA ACTIVIDAD DE AGUA (a<sub>w</sub>)

### POLYMATH Report

### Linear Regression

(p) E1

Model:  $\ln k = a_0 + a_1 \cdot T$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	3,047107	19,7547
a1	-2766,882	6077,98

#### General

Regression including a free parameter  
Number of observations = 3

#### Statistics

R <sup>2</sup>	0,9709823
R <sup>2</sup> adj	0,9419647
Rmsd	0,0237924
Variance	0,0050947

(p) E2

Model:  $\ln k = a_0 + a_1 \cdot T$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	-4,095745	4,262
a1	-342,8158	1311,314

#### General

Regression including a free parameter  
Number of observations = 3

#### Statistics

R <sup>2</sup>	0,9169129
R <sup>2</sup> adj	0,8338258
Rmsd	0,0051344
Variance	0,0002373

(p+s) E1a

Model:  $\ln k = a_0 + a_1 \cdot T$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	-4,790744	0
a1	-266,1846	0

#### General

Regression including a free parameter  
Number of observations = 2

#### Statistics

R <sup>2</sup>	1
R <sup>2</sup> adj	0
Rmsd	2,18E-12
Variance	1,00E+99

(p+s) E1b

Model:  $\ln k = a_0 + a_1 \cdot T$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	12,52792	0
a1	-5600,258	0

#### General

Regression including a free parameter  
Number of observations = 2

#### Statistics

R <sup>2</sup>	1
R <sup>2</sup> adj	0
Rmsd	1,79E-12
Variance	1,00E+99

(p+s) E2a

Model:  $\ln k = a_0 + a_1 \cdot T$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	18,53567	0
a1	-7127,387	0

#### General

Regression including a free parameter  
Number of observations = 2

#### Statistics

R <sup>2</sup>	1
R <sup>2</sup> adj	0
Rmsd	1,12E-12
Variance	1,00E+99

(p+s) E2b

Model:  $\ln k = a_0 + a_1 \cdot T$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	-5,247925	0
a1	197,9687	0

#### General

Regression including a free parameter  
Number of observations = 2

#### Statistics

R <sup>2</sup>	1
R <sup>2</sup> adj	0
Rmsd	2,82E-13
Variance	1,00E+99

(p+s+c) E1

Model:  $\ln k = a_0 + a_1 \cdot T$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	9,895636	60,09624
a1	-4881,588	1,85E+04

#### General

Regression including a free parameter  
Number of observations = 3

#### Statistics

R <sup>2</sup>	0,9183975
R <sup>2</sup> adj	0,836795
Rmsd	0,0723974
Variance	0,0471724

(p+s+c) E2

Model:  $\ln k = a_0 + a_1 \cdot T$ 

Variable	Value	95% confidence
a0	3,830193	40,32062
a1	-2836,144	1,24E+04

#### General

Regression including a free parameter  
Number of observations = 3

#### Statistics

R <sup>2</sup>	0,8940589
R <sup>2</sup> adj	0,7881179
Rmsd	0,0485739
Variance	0,0212348

## 4. ANOVA MEDIANTE EL MODELO GENERAL LINEAL PARA TIEMPO DE VIDA ÚTIL

## DATOS ESTADÍSTICOS CORRIDOS MINITAB

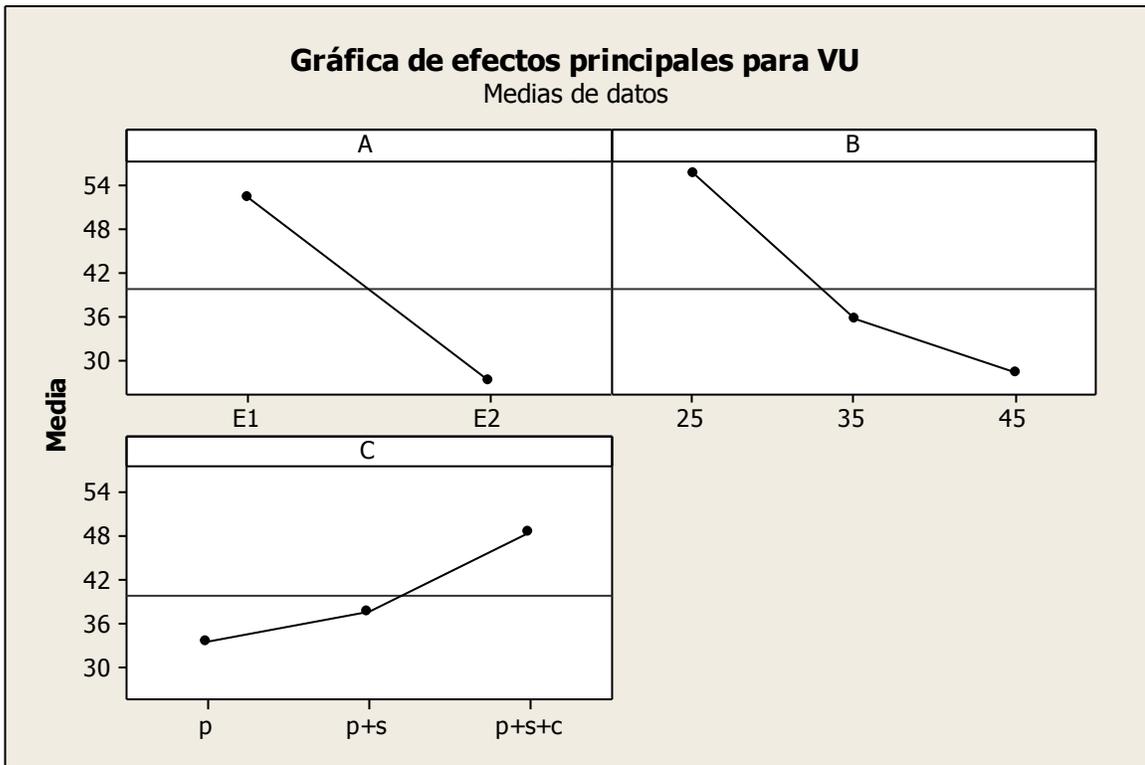
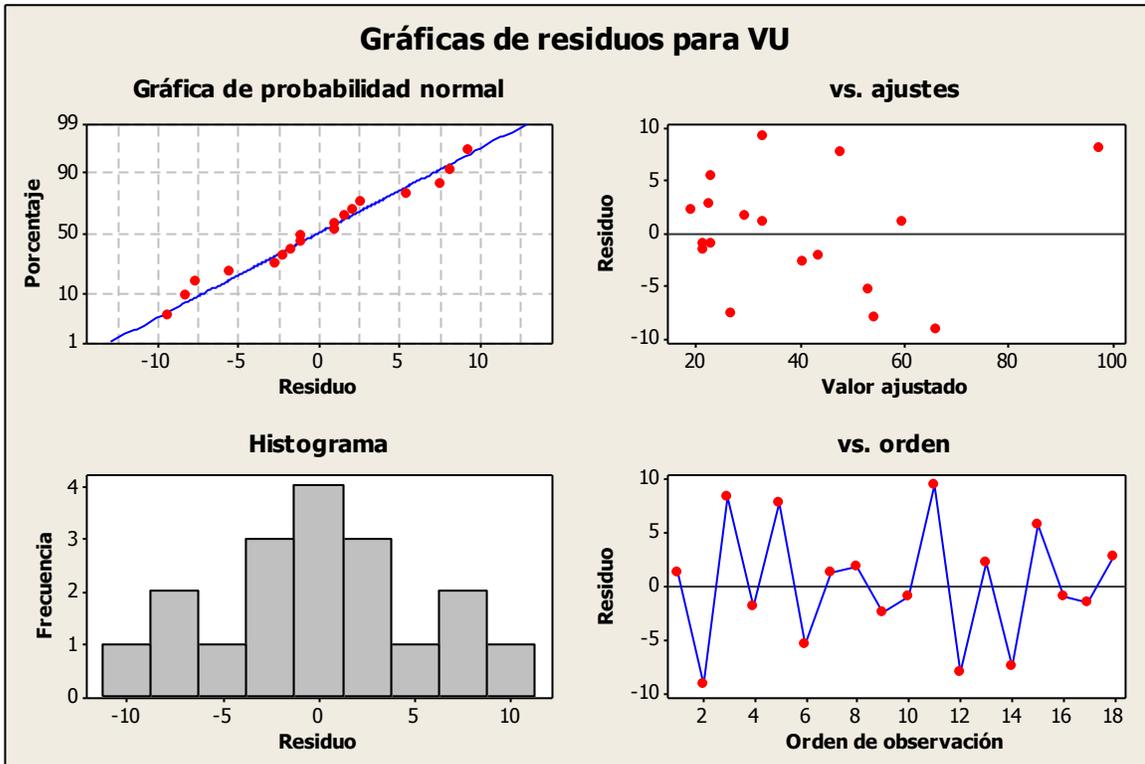
Modelo lineal general: VU vs. A; B; C

Factor	Tipo	Niveles	Valores
A	fijo	2	E1; E2
B	fijo	3	25; 35; 45
C	fijo	3	p; p+s; p+s+c

Análisis de varianza para VU, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
A	1	2849,1	2849,1	2849,1	21,98	0,009
B	2	2428,9	2428,9	1214,5	9,37	0,031
C	2	743,0	743,0	371,5	2,87	0,169
A*B	2	479,1	479,1	239,5	1,85	0,270
A*C	2	70,6	70,6	35,3	0,27	0,775
B*C	4	653,0	653,0	163,2	1,26	0,414
Error	4	518,6	518,6	129,6		
Total	17	7742,3				

S = 11,3859 R-cuad. = 93,30% R-cuad.(ajustado) = 71,53%





# ANEXO E. Producción académica

Serna-Cock, L., Vargas-Muñoz, D.P., Ayala-Aponte, A. Structural, physical, functional and nutraceutical changes of freeze-dried fruit. *Revista African Journal of Biotechnology*, 14(6), pp. 442-450. February 2015.

academicJournals

Vol. 14(6), pp. 442-450, 11 February, 2015  
DOI: 10.5897/AJB2014.14189  
Article Number: B98D7FF50317  
ISSN 1684-5315  
Copyright © 2015  
Author(s) retain the copyright of this article  
<http://www.academicjournals.org/AJB>

African Journal of Biotechnology

Review

## Structural, physical, functional and nutraceutical changes of freeze-dried fruit

Liliana Serna-Cock<sup>1\*</sup>, Diana Patricia Vargas-Muñoz<sup>2</sup> and Alfredo Ayala Aponte<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

<sup>2</sup>Centro Agropecuario de Buga, Regional Valle, SENA, Colombia.

<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Colombia.

Received 16 September, 2014; Accepted 9 February, 2015

This review examines the structural, physical, functional and nutraceutical changes of lyophilized fruits. Collapse, porosity, color, glass transition temperature, rehydration capacity, ability to retain water, volatile compounds, phenolic compounds, ascorbic acid, and beta-carotene, were defined, and the causes of changes in these parameters, during freeze-drying, were analyzed. Advantages and limitations of the freeze-drying, were shown, and strategies to reduce the costs associated with its use were proposed. It was concluded that lyophilized fruit retained to a greater proportion characteristics of fresh fruits, compared with other methods of dehydration. The effects of freeze-drying on physical and chemical properties vary in accordance with factors intrinsic to the fruit, and with extrinsic properties inherent to process. Most fruits maintain their color using freeze-drying. The porosity of freeze-dried fruit depends on the freezing speed. The glass transition temperature of dry solid would be an important optimization parameter for the freezing-drying process. The majority of phenolic acids and volatile compounds were conserved in freeze-drying. Freeze-drying increases the rehydration capacity of dried fruits, to a greater extent the hydrophilic groups which are responsible for interaction with water. However, dried fruits by freeze-drying can show structural collapse. The long processing time and energy costs are limiting the application of technology. The researchers recommend using combined to potentiate the benefits of freeze-drying and to lessen their limiting technologies.

**Key words:** Freeze-drying, fruit, dehydration.

### INTRODUCTION

Fruits are necessary in the human diet because of their vitamin, mineral and antioxidant content; they are remarkable for their exuberant flavors, colors and smells. These properties ought to be preserved in agro-industrial processing (Kirmaci et al., 2008). The World Health Organization (WHO) promotes the consumption of 400 g

of fruit per day (Montenegro et al., 2009; Orrego et al., 2009; Shofian et al., 2011). However, the perishability and seasonal availability of many fruits means that they are not always available to consumers. To combat this problem, the industry often offers processed fruits that have partially or completely lost their physical, nutraceutical

\*Corresponding author. E-mail: lserna@unal.edu.co.

Author(s) agree that this article remains permanently open access under the terms of the [Creative Commons Attribution License 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

and nutritional properties (Sijtsema et al., 2012).

Dehydrated fruits are excellent alternative, making year-round availability more feasible and extending the shelf life of fruits (Marques et al., 2007). The methods of fruit dehydration include drying in hot air (Giraldo et al., 2010), refraction window (Ocoro and Ayala, 2012), osmotic dehydration (Ayala et al., 2010), frying (Villamizar and Giraldo, 2010), drying by microwave (Duan et al., 2010; Jiang et al., 2010) and freeze-drying (Ayala et al., 2010; Ceballos et al., 2012). These methods diminish water activity and therefore reduce the number of enzymatic, chemical and microbiological reactions that take place (Hincapié et al., 2010). Dehydration methods should minimize the loss of nutrient and antioxidant contents (Santos and Silva, 2008); however, because some antioxidant compounds are weakly bonded to water in the fruit, some nutritional content will be lost in the dehydration process. Generally, fruits with the greatest initial water content lose a greater portion of soluble solids during dehydration (Ceballos et al., 2012).

Freeze-drying is the removal of water from a product through sublimation (Rothmayr, 1975). Sublimation is the conversion from ice directly to vapor without passing through a liquid state. In water, sublimation occurs when the vapor pressure and the temperature of the ice's surface are below the triple point [4.58 mm Hg (610 Pascal), 0°C] (Jennings, 2002). The process of freeze-drying has three essential steps: freezing, primary drying and secondary drying. Approximately 90% of the water is removed from fruits in the first drying phase (Welti et al., 2005). This article reviews the structural, physical, nutraceutical and functional changes of freeze-dried fruit. Advantages and limitations of the freeze-drying process as well as strategies for improvement are discussed.

#### STRUCTURAL CHANGES THAT CAN OCCUR IN THE FREEZE-DRYING PROCESS

The sought-after freeze-drying products are porous fruits that maintain their volume, can have fast and nearly complete rehydration when water is added and do not shrink (Duan et al., 2010). However, some freeze-dried products undergo undesirable structural changes. Microscopy can be used to study structural changes in freeze-dried fruits and to find a relationship to some physical properties (Yeom and Song, 2010). Table 1 presents a variety of fruits, processing variables, physical changes and the structural and nutraceutical effects of freeze-drying.

#### Collapse

Collapse and contraction are terms used to describe the loss of structure. A collapsed product may show reduced pore size and volumetric contraction (Khalloufi et al., 2010;

Madiouli et al., 2012). According to Harnkarnsujarit and Charoenrein (2011), collapse is the viscous flow that occurs when the viscosity diminishes beyond the glass transition temperature (T<sub>g</sub>). Loss of structure occurs when the material is incapable of supporting its own weight. If the temperature of a porous product is above the glass transition temperature, the viscosity of the solid material may not be able to support the structure, causing collapse and contraction (de Oliveira et al., 2010). Collapse is alternatively defined as a decrease in volume or an increase in apparent specific density (Cui et al., 2008).

Collapse is noted by the shrinkage of the dried product. These structures are sensitive to physical, chemical and microbiological changes, which reduce the shelf life and stability of the product (Queiroz et al., 2008). Several studies have shown that collapse slows some chemical reactions, such as oxidation (Prado et al., 2006) as well as the liberation of trapped volatile compounds (Levi and Karel, 1995).

The primary drying temperature can be manipulated to control collapse. A high freeze-drying temperature negatively affects the humidity of the final product, which can lead to structural loss or collapse. Collapsed products are tougher, have less aroma, and have less rehydration capacity (Harnkarnsujarit and Charoenrein, 2011).

The structural collapse of fruit can be physically controlled, by modifying the product structures before freeze-drying, and can be chemically controlled, through the addition of compounds that modify the collapse temperature. Products with high sugar content, such as fruit juice, have low collapse temperatures (de Oliveira et al., 2010). Collapse can be decreased, by controlling variables in the process such as the freezing speed and temperature (Ceballos et al., 2012). Ayala et al. (2010) describe collapse (19.15% volume loss) during the osmotic dehydration of yellow pitahaya. Evidence of this collapse can be observed in the deformation of cell walls and diminished cell turgor. Freeze-dried pitahaya, even without pre-treatment, did not collapse, losing only 2.6% of the original volume. Similarly, freeze-dried papaya did not present collapse (Marques et al., 2009).

Collapse is related to product porosity and rehydration. When collapse is not visually obvious, collapse can be evaluated through rehydration because structural collapse is known to diminish rehydration capacity (Marques et al., 2009).

Freeze-drying tropical fruits such as pineapple, guayaba, mango and Barbados cherries does not produce signs of collapse (Marques et al., 2006). The same is true for acerola pulp, which does not show visible signs of collapse (Marques et al., 2007). However, acerola and guayaba have a low rehydration capacity, which can be described as collapse. Mango, papaya and pineapple are readily rehydrated and are not thought to collapse in the freeze-drying process (Marques et al., 2009). de Oliveira et al. (2010) describe the freeze-drying of peki, a Brazilian fruit. The pulp was pretreated with sucrose and ethanol, which

444 Afr. J. Biotechnol.

**Table 1.** Process variables and physical, structural and nutraceutical changes in freeze-dried fruit.

Fruit	Processing variables	Physical and structural changes	Nutraceutical changes		Citation
			Fresh fruit	Freeze-dried fruit	
<i>Acerola (Malpighia glabra L.)</i>	Rapid freezing (-100°C), Liquid nitrogen, Primary drying (-32.1°C), Secondary drying (35°C)	Minimal collapse. Low Tg (-32.1°C). High rehydration capacity (10.1 kg/kg).	Vitamin C 1021 mg/100 g	Vitamin C 153.4 mg/100 g.	Marques et al. (2007)
Strawberry	Rapid freezing (-80°C for 24 h). Freeze-drying time (24 h).	Color: L*57, a*24, b*26, changed to L*58 a*23 b*26.	Vitamin C 50.7 mg/100 g Firmness 0.1 Newton	Vitamin C was conserved. Firmness 0.56 Newton Phenolic acids and aromatic substances were conserved. Anthocyanin was diminished	Yurdugül (2008)
Yellow pitahaya ( <i>Selenicereus megalanthus</i> )	Freezing (-35°C). Sublimation: 8 Pa vacuum pressure Drying from -35 to 35°C	Freeze-dried fruit: Aw: 0.382 Porosity: 48.17 Rehydratability: 1,982 Kg water/Kg mass Freeze-dried fruit: Volume was preserved in sliced fruit. Aw: 0.364 Porosity: 84.52 Rehydratability: 2,614 Kg water/Kg dry mass			Ayala et al. (2010).
Peki ( <i>Caryocar brasiliense</i> Camb.)	Sublimation: (0.0998 kPa, 40°C), 72 h. Secondary drying (35°C).	Particulates smaller than 1,20 mm. Aw: 0,06 – 0,25 Collapse.			de Oliveira et al. (2010).
Carambola			TPC (181,71 mg/100 g) Vitamin C (4,99 mg/100 g) Beta-carotene (30,79 mg/100 g)	TPC (137,95 mg/100 g) Vitamin C (4,67 mg/100 g) Beta-carotene (25,94 mg/100 g)	
Mango	Freezing (-20°C), 24 h Vacuum drying (-50°C), 3 days.		TPC (99,69 mg/100 g) Vitamin C (8,36 mg/100 g) Beta-carotene (660,27 mg/100 g)	TPC (76,57 mg/100 g) Vitamin C (8,34 mg/100 g) -Beta-carotene (487,34 mg/100 g)	Shofian et al. (2011)
Melon			TPC (16,71 mg/100 g) Vitamin C (2,24 mg/100 g) Beta-carotene (508,18 mg/100 g)	TPC (14,97 mg/100 g) Vitamin C (2,75 mg/100 g) Beta-carotene (523,26 mg/100 g)	

accelerates the freeze-drying process. This pretreatment protected the structure from collapse.

There are reports that freeze-dried apple and carrot also undergo collapse; however, compared with those dried by hot air or microwave, these freeze-dried products lose substantially less volume than their counterparts (Cui et al., 2008).

#### Variation in porosity

Using scanning electron microscopy (SEM), changes in a model system's microstructure can be studied, and the pore size of freeze-dried fruit can be measured. Similarly, SEM can be used to determine the size and shape of the particulates in pulverized fruits (Yeom and Song, 2010).

Porosity is defined as the relationship between fractional pore volume and the total food volume (Rahman et al., 2005). Porosity affects the texture and quality of dry foods and foods with moderate moisture levels. This characteristic is more important in freeze-dried foods than in microwaved or air-dried foods (Purnama et al., 2010).

The pores of dried products are composed of the small or large spaces formed by ice crystals during the freezing process. These spaces facilitate the diffusion of water vapor during the drying process. The porosity of freeze-dried fruit depends on the freezing speed, which, when slowed or augmented, can cause the ice to form smaller or larger pores, respectively (Voda et al., 2012). Slow freezing leads to the formation of voluminous crystals and pores that facilitate dehydration and subsequent rehydration (Jennings, 2002). Pore size has a small effect on vapor flow (Pardo and Niranjan, 2006).

Information about the characteristics of individual pores and structural characteristics of dried fruit can be used to design processes, determine product quality and estimate other properties such as thermal conductivity, density, water diffusivity and characteristics related to the extraction of bioactive components (Rahman and Sablani, 2003; Madiouli et al., 2012).

Porosity in fresh and freeze-dried fruit can be measured by comparing the apparent ( $\rho_a$ ) and true density ( $\rho_t$ ). Pore thickness can be measured using a method proposed by Madiouli et al. (2012) that includes open and closed pores. Direct experimental methods do not permit measurement of the formation of closed pores.

Freeze-dried ginseng has a total porosity of  $77.15 \pm 0.93\%$ . Freeze-dried pineapple, cherry, guayaba, papaya and mango all have porosity values between 84 and 93% (Marques et al., 2006).

Freeze-dried guanabana has medium-sized pores on the dry outer layer that are associated with rapid freezing (2.4 and 3.1°C/min), which causes the formation of smaller ice crystals. Medium-sized pores on the dry layer make sublimation more difficult and therefore increase the moisture level of the freeze-dried product (Ceballos et al., 2012).

Yellow pitahaya porosity is high (84.52%) compared to the porosity of fresh pitahaya (2.12%) and osmotically dehydrated pitahaya (48.17%) (Ayala et al., 2010). Freeze-dried papaya is less porous than freeze-dried guayaba and has a pore diameter less than 0.003 mm (Hawladar et al., 2006).

#### PHYSICAL CHANGES TO FRUIT DURING THE FREEZE-DRYING PROCESS

##### Color

The conservation of color is considered an indication of quality in dried fruits given that non-enzymatic browning processes develop during the drying process (Ceballos et al., 2012). Freeze-dried fruits better maintain red and yellow colors than fruits dried using traditional methods (Shishegarha et al., 2002). However, kinetic color analyses of freeze-dried fruit show some deterioration of reds and yellows (Guiné and Barroca, 2012).

Strawberries that are freeze-dried at temperatures below -50°C retain their color better than strawberries freeze-dried at temperatures above -50°C. This effect is due to a higher concentration of solutes (reduction of water) and the effects of pH on anthocyanin (Shishegarha et al., 2002). Fresh alpine strawberries maintained their color after freeze-drying; color values for freeze-dried strawberries were  $L^* = 58$ ,  $a^* = 23$ , and  $b^* = 26$ , while these values were  $L^* = 57$ ,  $a^* = 23$  and  $b^* = 26$  for fresh strawberries (Yurdugül, 2008).

Color variation in freeze-dried Granny Smith apples was lower ( $3.537 \pm 1.717$ ) than the variation after convective drying [ $5.279 \pm 0.989$ ], convective drying in a vacuum ( $11.308 \pm 1.729$ ) and microwave drying ( $5.958 \pm 0.580$ ) (Valencia et al., 2011).

Mofshammer et al. (2006) found that freeze-drying drastically affected the color of nopal, a change that can be attributed to the formation of soluble melanoidins. Pulverized nopal does not exhibit the same color change.

Sliced carrots maintain their color throughout the freeze-drying process. Sliced apples exhibit minor color variation (Cui et al., 2008). The loss of color in freeze-dried green peppers is minor compared to the color loss in air-dried peppers. However, comparing the color values  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  of fresh peppers (37.22 -14.11 and 22.52, respectively) and freeze-dried peppers (44.12 -12.11 and 19.59, respectively), green color loss is noted, due to the decomposition of chlorophyll (Guiné and Barroca, 2012).

Guiné and Barroca (2012) reported that freeze-dried squash had  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  values of 77.70, 15.25 and 41.43, respectively, exhibiting color losses in red and yellow compared to fresh squash (68.97, 18.21 and 49.82).

Rapid freezing of guanabana (from 1.1 to 3.1°C/min) produced a more intense white value ( $L^* = 85.10$  to 88.92).

446 Afr. J. Biotechnol.

This higher color intensity can be explained by small pores, (an effect of rapid freezing), due to, the small pores dispersing more light than large pores (an effect of slow freezing) (Ceballos et al., 2012). Freeze-dried papaya was more luminescent, and freeze-dried guayaba maintained better color than the same fruits dehydrated in a vacuum (Hawladar et al., 2006).

#### Glass transition

The glass transition temperature ( $T_g$ ) is a key physical parameter that explains the chemical and physical behavior of a food system. Freeze-dried foods must have stable moisture levels and good packaging during storage. Absorption of additional moisture can lead to a state of amorphous disequilibrium, which brings with it a transformation from a glass solid state to a plastic fluid state when the glass transition temperature is reached (Duan et al., 2013). The glass transition temperature of dry solid would be an important optimization parameter for the freezing-drying process. This parameter can be used as useful tool for the choice of the most appropriate materials to be freezing-dried (Ratti, 2001).

Freeze-dried cubed apples were analyzed by differential scanning calorimetry (DSC). The  $T_g$  was below  $-30^\circ\text{C}$  (Duan et al., 2013). The  $T_g$  of freeze-dried tomatoes was determined using DSC. The thermogram revealed the existence of two similar but distinct  $T_g$  values, which generated a water plasticization effect in hygroscopic regions of the product ( $T_g = -50^\circ\text{C}$ ) (Telis and Sobral, 2002). Guizani et al. (2010) studied freeze-dried Deglet Nour palm dates using DSC. The thermograms generated showed a diminishing glass transition temperature ( $-13.8$  to  $-48.7^\circ\text{C}$ ). However, the  $T_g$  rose with an increase of the solid content of the fruit. The  $T_g$  of the common mushroom (*Agaricus bisporus*) was as low as  $-77.9^\circ\text{C}$  after freeze-drying (Shi et al., 2012). Freeze-dried kiwi [*Grossella espinosa* China] had a  $T_g$  of  $-57.2^\circ\text{C}$  for optimal freezing-concentration conditions (Wang et al., 2008).

#### FUNCTIONAL CHANGES DURING THE FREEZE-DRYING PROCESS

##### Rehydration capacity and water retention

Rehydration capacity (RC) is the ability to reabsorb water relative to the water lost during dehydration, while water retention capacity (WRC) is defined as the ability to absorb and retain water relative to mechanical force. These indicators are related to the structure, the tissue and the capacity to retain absorbed water. Increases or decreases in these indicators can be attributed to the denaturation and/or aggregation of proteins due to heat, salt concentration, desorption of water and destruction of pectins in the cell membrane (Sanjuán et al., 2001). As

mentioned above, porosity also influences the rehydration capacity of freeze-dried fruits. The formation of large water crystals facilitates large pore formation, which in turn facilitates rehydration (Jennings, 2002).

The quality of a freeze-dried product is marked by the speed and ease of reconstitution or rehydration. Rehydration capacity is a key characteristic of freeze-dried fruit and is dependent on the size, geometry, composition, water content and porosity of the fruit (Sanjuán et al., 2001). Rehydratability is also affected by the method of rehydration utilized and the temperature, time and conditions of agitation (Arriola et al., 2006), as well as pre-treatment factors. Sliced yellow pitahaya, for example, has 24% less rehydration capacity when osmotically dehydrated prior to freeze-drying (Ayala et al., 2010). In avocado, the speed and capacity of rehydration are independent of immersion temperature (Arriola et al., 2006).

The rehydration capacities of freeze-dried carrots and apple chips (3.94 and 5.61, respectively) were similar to the values obtained by combined methods (microwave-freeze-drying) (3.95 and 5.22, respectively). Porosity was similar in both of these foods (Cui et al., 2008). Freeze-dried Chilean guava has an external appearance similar to that of the fresh fruit, although the freeze-dried product is gelatinous inside (Reyes et al., 2010).

The rehydration capacity of freeze-dried acerola is high (10.1 kg/kg) when it is frozen with liquid nitrogen at  $73.6^\circ\text{C}/\text{min}$ , which does not cause cell rupture in the samples (Marques et al., 2007). The rehydration capacity of freeze-dried yellow pitahaya is high, reaching a moisture content nearly equal to that of the fresh fruit (3.393 kg water/kg m.s) (Ayala et al., 2010).

#### CHANGES IN VOLATILE COMPOUND CONTENT IN FRUIT DURING THE PROCESS OF FREEZE-DRYING

Fruit aromas and flavors are transmitted by volatile compounds, such as esters, alcohols, terpenes (derived from the metabolism of mevalonic acid), aldehydes, carbonyl compounds, acids, brass, phenols, hydrocarbons, arylpropanoids (derived from the shikimic acid metabolic pathway), sulfur compounds and glucosinolates (derived from the amino acid metabolic pathway), among others (Wang et al., 2007; De Torres et al., 2010). Volatile compound content changes as fruit ripens. Ripe cocona, for example, has an increased concentration of esters and alcohols, decreased concentration of carbonyl compounds and high concentrations of methyl salicylate and  $\alpha$ -terpineol, as well as (Z)-3-hexenol, though in lesser proportion. The concentrations of the aldehydes (Z)-3-hexenal, (Z)-2-hexenal and (E)-2-hexenal diminish as the fruit ripens (Quijano and Pino, 2006).

The volatile compounds in freeze-dried fruits are retained by entrapment in microregions of dry material. Loss of volatile compounds is due to adsorption of water

by the dry product, which increases the permeability of these dry regions and therefore, the loss of these compounds. Carbohydrate-carbohydrate bonds are replaced by carbohydrate-water bonds. However, for the critical water content, Xc, microregions remain sealed and cease to lose volatile compounds. Xc is defined as the water content at the transition point between the primary and secondary drying phases (Jennings, 2002).

Wang et al. (2007) demonstrated that freeze-dried plantains maintain their ester content. Esters are the most important volatile compound in plantains, though unlike enols, which are lost, esters have little influence on the aromatic profile of the plantains. Coffee that is freeze-dried under conditions with slow freezing and rapid drying retains aromatic compounds (Sagara et al., 2005). Grape peels in freeze-dried grapes retain terpenes, sesquiterpenes norisoprenoids, aldehydes and esters, among other compounds, which ensure wine quality (De Torres et al., 2010).

Analysis of apples by mass spectrometry and gas chromatography [GC/MS] showed that the volatile compounds most common in apples-ethyl acetate, ethyl butyrate and methyl anthranilate-were retained during the freeze-drying process (Krokida and Philippopoulos, 2006).

The chalarina (white zapote), a Peruvian fruit, retained a larger proportion of volatile and thermosensitive compounds, such as vitamin C, when dehydrated via freeze-drying (Castañeda et al., 2010). The majority of phenolic acids and volatile compounds were conserved in freeze-dried strawberries (Yurdugül, 2008).

#### CHANGES IN THE NUTRACEUTICAL CONTENT OF FREEZE-DRIED FRUIT

##### Total phenolic compounds (TPC)

Phenolic compounds are a large group of antioxidants that are present in nearly all plant-based foods. The measured total phenolic compound content depends on the type of fruit, ripeness, agricultural and climatic factors, post-harvest storage conditions and method of anti-oxidant extraction (Shofian et al., 2011).

Freeze-drying fruit can diminish the phenolic compound content because ice crystals formed during freezing can cause cell wall rupture and the subsequent release of oxidative and hydrolytic enzymes that degrade phenolic compounds (Chang et al., 2006). However, there are fruits, such as tomatoes and blueberries that have significantly higher levels of phenol compounds after freeze-drying. This effect is due to the liberation of phenolic compounds that had been trapped in the cell wall (Reyes et al., 2011).

The antioxidant content of freeze-dried açai was 255.1 mg/100 g of freeze-dried fruit for cyanidin-3-glucoside and 25 mg/100 g of freeze-dried fruit for ferulic acid

(Rojano et al., 2011). The polyphenol content in fresh Chilean guava is 1460 mg/100 g (dry mass), a value that drops at least 40% after freeze-drying. Freezing speed affects polyphenol content; rapid freezing led to a polyphenol content of 793 mg/100 g (dry mass), and slow freezing produced 815 mg/100 g (dry mass) (Reyes et al., 2010).

In watermelon, papaya, carambola, mango and melon, the levels of phenolic compounds decreased by 48.23, 39.73, 24.08, 23.19 and 10.41%, respectively, during the freeze-drying process (Shofian et al., 2011). The phenolic compounds found in strawberries, esters, terpenoids, carbonyl compounds and various alcohols and acids, do not change during the freeze-drying process (Yurdugül, 2008).

Reyes et al. (2011) demonstrated that freeze-drying diminished the phenolic compound content of blueberries from 832.9 mg/100 g to 769.2 mg/100 g (dry mass); however, this loss was insignificant compared to other dehydration methods. Freeze-dried Chilean guava lost 33.3 and 67.5% of the original total antioxidants after rapid and slow freezing, respectively (Reyes et al., 2010).

##### Ascorbic acid

Ascorbic acid content can decrease in high-temperature treatments, with this compound degrading when oxidized to dehydroascorbic acid and hydrolyzed to 2,3-diketogulonic acid. The latter can further polymerize to form other nutritionally inactive products (Chang et al., 2006). Some studies have indicated that freeze-drying allows the retention of ascorbic acid when the freeze-drying is conducted at low temperatures, minimizing deterioration of this water-soluble vitamin (Shofian et al., 2011).

Chang et al. (2006) compared the ascorbic acid content of fresh, freeze-dried and hot-air dried tomatoes and found that freeze-drying reduces the loss (8.2%) compared to hot-air drying (56-61%). The losses of vitamin C in the pulp of cherries, papaya, pineapple, mango and guava due to freeze-drying were 3.59, 24.2, 26.92 and 37%, respectively (Marques et al., 2006). Vitamin C loss was 10% in freeze-dried nopal and 50-55% in spray-dried nopal (Moßhammer et al., 2006).

Freeze-dried apples retain a larger proportion of vitamin C (97.0%) than microwave-dried (89%), air dried (63.7) or microwaved and freeze-dried (91.8%) apples (Cui et al., 2008). Chalarina (white zapote) lost 22.55% of its fresh ascorbic acid content when dried (29.75 mg/100 g) (Castañeda et al., 2010).

The original ascorbic acid content was preserved in freeze-dried carambola, mango, papaya, melon and watermelon. This study concluded that freeze-drying maximizes ascorbic acid retention and that freezing had a minimal degradation effect on vitamin C (Shofian et al., 2011). The ascorbic acid content of freeze-dried guanabana

declined from 81 mg/100 g to 40.57 mg/100 g under rapid freezing conditions (3.1°C/min), and from 81 mg/100 g to 53.76 mg/100 g under slow freezing conditions (1.1°C/min) (Ceballos et al., 2012).

The acerola is a Brazilian fruit with a high vitamin C content that varies according to maturity. The green fruit has 179.7 mg/100 g, the red-yellow fruit has 176.4 mg/100 g, and the red fruit has 149 mg/100 g. The vitamin C content declines significantly during the freeze-drying process, to values as low as 55.1 and 72.1 mg/100 g in green and red fruits, respectively. In the yellow-red fruit, vitamin C loss was 13% (Marques et al., 2007). Freeze-dried blueberries lose 60.43% of their initial vitamin C content (151.9 mg/100 g dry mass) during drying (Reyes et al., 2011).

#### **β-Carotene content**

β-Carotenes are compounds found in the lipid membranes or vacuoles of leafy green vegetables and yellow to orange fruits and vegetables. The degradation of phenolic compounds can lead to the degradation of β-carotenes (Shofian et al., 2011). Freeze-dried carrots retain 95.4% of their initial β-carotene; this value is a larger proportion than that obtained through other dehydration methods, including microwave and hot air dehydration (Cui et al., 2008). In the process of freeze-drying watermelon, mango, carambola and papaya, 43.1, 26.19, 15.75 and 8.16% of their initial β-carotene was lost, respectively (Shofian et al., 2011).

#### **ADVANTAGES AND LIMITATIONS OF FREEZE-DRYING FRUIT**

As has been demonstrated in the studies described, the effects of freeze-drying on physical and chemical properties vary in accordance with factors intrinsic to the fruit and extrinsic properties inherent to the process. Regardless, general advantages and limitations can be identified.

Among the advantages of freeze-drying are enhanced stability, rapid and easy solubility, prolonged shelf life, and increased availability and permanent access to fruit. Freeze-drying guarantees high-quality products with superior sensory and nutritional properties.

As with traditional dehydration methods, freeze-drying is not completely reversible by rehydration; however, damage to the hydrophilic groups responsible for the interaction with water is lower than that of other methods. Freeze-dried products rapidly rehydrate and regain water content and organoleptic properties similar to those of the fresh product (Jiang et al., 2010).

In comparison to products obtained through other dehydration methods, freeze-dried fruits have a more porous structure as well as superior flavor and aroma retention (Ceballos et al., 2012). High porosity facilitates

rehydration with water or other adequate solvents, and greater porosity is directly related to a greater rehydration capacity and is an indicator of product quality (Ayala et al., 2010). The reduction of volume during freeze-drying is minimal (Shishhegarha et al., 2002). The temperatures reached in the freeze-drying process are outside of the range of temperatures that induce chemical changes in fruit. There is minimal loss of volatile compounds at freeze-drying temperatures (Yurdugül, 2008).

Freeze-dried fruits have a very low moisture content, which allows them to be stored for long periods; freeze-dried goods are highly stable products (Shishhegarha et al., 2002). Freeze-dried fruits can be used as antioxidants and colorants in natural foods (Yurdugül, 2008). Freeze-drying allows the production of powdered fruit that can be used as base materials in the food and pharmaceutical industries. Freeze-drying is an ideal technology for consumers without access to fresh produce, such as astronauts (Aguilera and Stanley, 1999).

Among the limitations of freeze-drying is the cost. Freeze-drying requires long processing times and consumes large amounts of energy to freeze the fruit, sublimate the ice, dry the product and condense the vapor while maintaining vacuum conditions (Sadikoglu et al., 2006; Benlloch et al., 2012). The vacuum pump and sublimation account for 26 to 45% of the total energy consumed in the process (Menlik et al., 2010). Equally important to energy costs are general operating conditions, such as the chamber pressure and heating and freezing speeds (Arriola et al., 2006). Structural collapse is a limiting factor for some fruits for which freeze-drying causes a wrinkled and compromised structure that cannot be reversed (Lee et al., 2006).

A final limitation, closely linked to freeze-dried product stability, is hygroscopicity. Freeze-dried products are highly hygroscopic, and further extension of the shelf life can be gained with the addition of solutes such as Arabic gum, tricalcium phosphate and maltodextrin that can increase product stability and act as a barrier to water absorption (Kaushik and Roos, 2007; de Oliveira et al., 2010; Fabra et al., 2011; Benlloch et al., 2012; Ceballos et al., 2012; Mosquera et al., 2012).

In an effort to reduce energy costs when maintaining a high-quality product, investigators have sought to combine technologies such as microwave (Cui et al., 2008), hot air (Giraldo et al., 2010) and osmotic dehydration (Ayala et al., 2010) to eliminate a portion of the water before freeze-drying (Zhang et al., 2006). Table 2 outlines the investigations of combined dehydration technologies as a cost-saving measure.

#### **CONCLUSIONS**

The structural, physical, functional and nutraceutical effects of freeze-drying produce are dependent on intrinsic factors that are inherent to the fruit and to extrinsic factors that are inherent to the process. Freeze-drying

**Table 2.** Combining methods to reduce freeze-drying costs.

Fruit	Pre-treatment	Results	Citation
Chalarina ( <i>Casimiroa edulis</i> )	Osmotic dehydration 63.57°Brix, 679.06 mmHg and 45.3°C.	4.87% of the total Vitamin C was lost during osmotic dehydration. When osmotic dehydration was combined with freeze-drying, the Vitamin C loss was 49.63%.	Castañeda et al. (2010)
Carrot	Microwave dehydration in a vacuum (MWV)	MWV carrots retained 94.7% of their original carotenoids MWV+freeze-dried carrots retained 94.9% of their original carotenoids.	Cui et al. (2008)
Apple	MWV dehydration	MWV apples retained 89% of their original Vitamin C MWV+freeze-dried apples retained 91.8% of their original Vitamin C.	Cui et al. (2008)

technology offers advantages and has limitations. Freeze-drying is an ideal method for heat-sensitive fruits that require special care during processing. In many fruits, properties such as shape, dimension, appearance, flavor, color, texture and nutraceutical ingredients are retained after freeze-drying, adding value of approximately 120%. The technology is equally valuable when a high rehydration capacity is required, as is the case for powdered freeze-dried fruit. Limitations to the application of this technology include the prolonged processing time, high-energy costs, high product hygroscopicity and undesirable physical changes such as collapse. Investigators have sought to lower freeze-drying costs through the use of pretreatments and the combination of freeze-drying with other dehydration technologies, such as hot air, microwave and osmotic dehydration.

#### Conflict of interests

The author(s) did not declare any conflict of interest.

#### REFERENCES

- Aguilera J, Stanley D (1999). Microstructural principles of food processing and engineering. 2nd ed. Maryland, Aspen Publisher, Inc.
- Arriola E, García T, Guatemala G, Nungaray J, González O, Ruiz, J. (2006). The behavior of freeze-dried hass avocado during the rehydration process. *Revista mexicana de ingeniería química* 5(1):51-56.
- Ayala A, Giraldo C, Serna L (2010). Kinetics of osmotic dehydration of yellow pitahaya fruit (*Selenicereus megalanthus*). *Revista Interciencia* 35(7):539-554.
- Ayala A, Serna L, Mosquera E (2010). Freeze-drying in yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). *Vitae* 17(2):121-27.
- Berlouch M, Moraga G, del Mar M, Martínez N (2012). Combined Drying Technologies for High-Quality Kiwifruit Powder Production. *Food bioprocess Technol.* 6(12):3544-53.
- Castañeda J, Arteaga H, Siche R, Rodríguez G (2010). Comparative study of the loss of vitamin C in chalarina (*Casimiroa edulis*) by four methods of dehydration. *Scientia Agropecuaria* 1:75-90.
- Ceballos A, Giraldo G, Orrego C (2012). Effect of freezing rate on quality parameters of freeze-dried soursop fruit pulp. *J. Food Eng.* 111(2):360-365.
- Chang C, Lin H, Chang C, Liu Y (2006). Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *J. Food Eng.* 77(3):478-485.
- Cui Z, Li C, Song C, Song Y (2008). Combined microwave-vacuum and freeze-drying of carrot and apple chips. *Drying Technol.* 26(12):1517-1523.
- De Oliveira C, de Resende J, Prado M, Cruvinel, R (2010). The effects of added sugars and alcohols on the induction of crystallization and the stability of the freeze-dried peki (*Caryocar brasiliense* Camb.) fruit pulps. *LWT Food Sci, Technol.* 43(6): 934-941.
- De Torres C, Diaz M, Hermosin I, Pérez M (2010). Effect of freeze-drying and oven-drying on volatiles and phenolics composition of grape skin. *Anal. Chim. Acta* 660(1):177-182.
- Duan X, Ding L, Liu L, Kong Q (2013). The drying strategy of atmospheric freeze-drying apple cubes based on glass transition. *Food Bioprocess Process.* 91(4):534-538.
- Duan X, Zhang M, Mujumdar A, Wang R (2010). Trends in microwave-assisted freeze-drying of foods. *Drying Technol.* 28(4):444-453.
- Fabra M, Márquez E, Castro D, Chiralt A (2011). Effect of maltodextrins in the water-content-water activity-glass transition relationships of noni (*Morinda citrifolia* L.) pulp powder. *J. Food Eng.* 103(1):47-51.
- Giraldo A, Arévalo, A, Silva, A, Silva, P, Valdes, J, Pavlak, M, (2010). Kinetic drying experimental data and mathematical model for cupuacu pulp (*Theobroma grandiflora*) slices. *Food Sci, Technol. (Campinas)*, 30(1):179-82.
- Guiné R, Barroca M (2012). Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). *Food Bioprocess Process.* 90(1):58-63.
- Guizani N, Al-Saidi G, Rahman M, Bornaz S, Al-Alawi A (2010). State diagram of dates: Glass transition, freezing curve and maximal-freeze-concentration condition. *J. Food Eng.* 99(1):92-97.
- Harkamsujarit N, Charoenrein S (2011). Influence of collapsed structure on stability of  $\beta$ -carotene in freeze-dried mangoes. *Food Res. Int.* 44(1):3188-94.
- Hawladar M, Perera C, Tian M, Yeo K (2005). Drying of guava and papaya: impact of different drying methods. *Drying Technol.* 24(1): 77-87.
- Hincapié G, Omaña M, Hincapié C, Arias Z, Vélez L. (2010). Effect of the drying temperature on the functional properties of the dietary fiber contained in citropulp. *Rev. Lasallista Investig.* 7(2):85-93.
- Jennings T (2010). Lyophilization: introduction and basic principles. Florida. Interpharm.
- Jiang H, Zhang, M Mujumdar A (2010). Microwave freeze-drying characteristics of banana crisps. *Drying Technol.* 28(12):1377-1384.
- Kaushik V, Roos Y (2007). Limonene encapsulation in freeze-drying of gum Arabic-sucrosa-gelatin systems. *LWT Food*

450 Afr. J. Biotechnol.

- Sci. Technol. 40: 1381-1391.
- Khalloufi S, Almeida C, Bongers P (2010). A fundamental approach and its experimental validation to simulate density as a function of moisture content during drying processes. *J. Food Eng.* 97(2):177-187.
- Kirmaci V, Usta H, Menlik T (2008). An experimental study on freeze-drying behavior of strawberries. *Drying Technol.* 26(1):1570-1576.
- Krokida M, Philippopoulos C (2006). Volatility of apples during air and freeze-drying. *J. Food Eng.* 73(2):135-141.
- Lee K, Farid M, Nguang S (2006). The mathematical modelling of the rehydration characteristics of fruits. *J. Food Eng.* 72(1):16-23.
- Levi G, Karel M (1995). Volumetric shrinkage (collapse) in freeze-dried carbohydrates above their glass transition temperature. *Food Res. Int.* 28(2):145-151.
- Madiouli J, Sghaier J, Lecomte D, Sammouda H (2012). Determination of porosity change from shrinkage curves during drying of food material. *Food Bioprocess Technol.* 90(1):43-51.
- Marques L, Ferreira M, Freire J (2007). Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra* L.). *Chem. Eng. Process.* 46(4):451-457.
- Marques L, Prado M, Freire J (2009). Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. *LWT Food Sci. Technol.* 42(7):1232-1237.
- Marques L, Silveira A, Freire J (2006). Freeze-drying characteristics of tropical fruits. *Drying technology.* 24(4): 457-463.
- Menlik T, Ozdemir M, Kirmaci V (2010). Determination of freeze-drying behaviours of apples by artificial neural network. *Expert Syst. Appl.* 37(12):7669-7677.
- Montenegro G, Doak C, Solomons N (2009). Fruit and vegetable intake of schoolchildren on Quetzaltenango, Guatemala. *Rev. Panam. Salud Pública* 25(2):146-56.
- Mosquera L, Moraga G, Martínez N (2012). Critical water activity and critical water content of freeze-dried strawberry powder as affected by maltodextrin and arabic gum. *Food Res. Int.* 47(2):201-06.
- Mošhammer M, Stintzing F, Carle R (2006). Evaluation of different methods for the production of juice concentrates and fruit powders from cactus pear. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 7(4):275-87.
- Ocoro M, Ayala A (2012). Evaluation of the refractance windowTM technique on drying of papaya (*Carica papaya* L.) purée. *Vitae* 19(1): 72-74.
- Orrego C, Pamplona F, Perez V (2009). Low pressure water diffusivity measurements of freeze-dried tomato tree (*Cyphomandra Betacea* (Cav) Send) juice. *Ireche* 1(5):1-8.
- Pardo M, Niranjani K (2006). Modeling of the relationship between freezing kinetics and sublimation kinetics in coffee brews. *Revista Ingeniería y competitividad* 8(2):25-33.
- Prado S, Buera M, Elizalde B (2006). Structural Collapse Prevents  $\beta$ -Carotene Loss in a Supercooled Polymeric Matrix. *J. Agric. Food Chem.* 54(1):79-85.
- Purnama M, Yaghmaee P, Durance T, Kitts D (2010). Porosity Changes and Retention of Ginsenosides in North American Ginseng Root Using Different Dehydration Processes. *J. Food Sci.* 75(7):E487-92.
- Queiroz V, Berbert P, Molina M, Gravina G, Queiroz R, Silva J (2008). Qualidade nutricional de goiabas submetidas aos processos de desidratação por imersão-impregnação e secagem complementar por convecção. *Ciencia e tecnologia de alimentos* 28(2):329-340.
- Quijano C, Pino J (2006). Changes in volatile constituents during the ripening of cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) fruit. *Revista CENIC Ciencias Químicas* 37(3):133-136.
- Rahman M, Al-Zakwani I, Guizani N (2005). Pore formation in apple during air-drying as a function of temperature: porosity and pore-size distribution. *J. Sci. Food Agric.* 85(6):979-89.
- Rahman M, Sablani S (2003). Structural characteristics of freeze-dried abalone: porosimetry and puncture test. *Food Bioprocess Technol.* 81(4):309-315.
- Ratti C (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *J. Food Eng.* 49:311-319.
- Reyes A, Bubnovich V, Bustos R, Vásquez M, Vega R, Scheuermann E (2010). Comparative study of different process conditions of freeze-drying of 'Murtilla' Berry. *Drying Technol.* 28(12):1416-1425.
- Reyes A, Evseev A, Mahn A, Bubnovich V, Bustos R, Scheuermann (2011). Effect of operating conditions in freeze-drying on the nutritional properties of blueberries. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 3(62):303-306.
- Rojano B, Vahos I, Arbeláez A, Martínez A, Correa F, Carvajal L (2011). Polyphenols and antioxidant activity of the freeze-dried palm naidi (Colombian Açai) (*Euterpe oleracea* Mart). *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 64(2):6213-20.
- Rothmayr W (1975). Basic knowledge of freeze-drying. *Freeze-Drying and Advanced Food Technology.*
- Sadikoglu H, Ozdemir M, Seker M (2006). Freeze-drying of pharmaceutical products: Research and development needs. *Drying Technol.* 24(7):849-861.
- Sagara Y, Kaminishi K, Goto E, Watanabe T, Imayoshi Y, Iwabuchi H (2005). Characteristic evaluation for volatile components of soluble coffee depending on freeze-drying conditions. *Drying Technol.* 23(9-11):2185-2196.
- Sanjuán N, Cárcel J, Clemente G, Mulet A (2001). Modeling of the rehydration process of broccoli florets. *Eur. Food Res. Technol.* 212(4):449-453.
- Santos P, Silva M (2008). Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables - A review. *Drying Technol.* 26(12):1421-1437.
- Shi Q, Wang X, Zhao Y, Fang Z (2012). Glass transition and state diagram for freeze-dried *Agaricus bisporus*. *J. Food Eng.* 111(4): 667-674.
- Shishegarha F, Makhlof J, Ratti C (2002). Freeze-drying characteristics of strawberries. *Drying Technol.* 20(1):131-45.
- Shofian N, Hamid A, Osman A, Saari N, Anwar F, Pak Dek M, Hairuddin M (2011). Effect of Freeze-Drying on the Antioxidant Compounds and Antioxidant Activity of Selected Tropical Fruits. *Int. J. Mol. Sci.* 12(7):4678-4692.
- Sijtsema S, Zimmermann K, Cvetkovic M, Stojanovic Z, Spiroski I, Milosevic J, Mora C, Butigan R, Mugosa R, Esteve M, Pohar J (2012). Consumption and perception of processed fruits in the Western Balkan region. *LWT Food Sci. Technol.* 49(2):283-297.
- Telis V, Sobral P (2002). Glass transitions for freeze-dried and air-dried tomato. *Food Res. Int.* 35(5):435-443.
- Valencia C, Rodríguez H, Giraldo P (2011). Drying kinetics and oxidation control in Granny smith apples, through different drying methods. *Revista Tumbaga* 6(7):7-16.
- Villamizar R, Giraldo G (2010). Obtaining and characterization of a chip from a base of mango pulp through immersion frying. *Revista Tumbaga* 5:149-164.
- Voda A, Homan N, Witek M, Duijster A, van Dalen G, van del Sman R, Nijssen J, van Vliet L, Van As H, van Duynhoven J (2012). The impact of freeze-drying on microstructure and rehydration properties of carrot. *Food Res. Int.* 49(2):687-693.
- Wang J, Li Y, Chen R, Bao J, Yang G (2007). Comparison of volatiles of banana powder dehydrated by vacuum belt drying, freeze-drying and air-drying. *Food Chem.* 104(4): 1516-1521.
- Wang, H, Zhang S, Chen G (2008). Glass transition and state diagram for fresh and freeze-dried Chinese gooseberry. *J. Food Eng.* 84(2): 307-312.
- Welti J, Vergara F, Pérez E, Reyes A (2005). Fundamentals and new tendencies of freeze-drying of foods. *Universidad de las Américas. Segundo Simposio Internacional de Innovación y Desarrollo de Alimentos.*
- Yeom G, Song C (2010). Experimental and numerical investigation of the characteristics of spray-freeze drying for various parameters: Effects of product height, heating plate temperature, and wall temperature. *Drying Technol.* 28(2):165-179.
- Yurdugül S (2008). An evaluation of the retention of quality characteristics in fresh and freeze-dried alpine strawberries. *Int. J. Food Sci. Technol.* 43(5):865-870.
- Zhang S, Tang J, Mujumdar A, Wang S (2006). Trends in microwave related drying of fruits and vegetables. *Trends Food Sci. Technol.* 17(10):524-534.

Serna-Cock, L., Vargas-Muñoz, D.P., Rengifo-Guerrero, C.A. Agroindustrial Potential of cocona (*Solanum sessiliflorum Dunal*) pulp, peels and seeds. Se encuentra aceptado para publicación en la revista **Brazilian Journal of Food Technology** desde el 5 de marzo de 2015.

21/5/2015

Gmail - Fwd: Re: Estado de avance articulo BJFT 43/2014



Diana Vargas &lt;diavargasm@gmail.com&gt;

**Fwd: Re: Estado de avance articulo BJFT 43/2014**

1 mensaje

**Carlos Andres Rengifo Guerrero** <carengifog@unal.edu.co>  
 Para: Diana Vargas <diavargasm@gmail.com>

29 de abril de 2015, 6:37

Hola Diana, volvi a escribir a la revista de brasil. Esta es la respuesta.

----- Mensaje reenviado -----

De: "lucia" &lt;lucia@ital.sp.gov.br&gt;

Fecha: abr 29, 2015 6:13 a. m.

Asunto: Re: Estado de avance articulo BJFT 43/2014

Para: "Carlos Andres Rengifo Guerrero" &lt;carengifog@unal.edu.co&gt;

Cc:

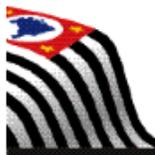
Bom Dia Sr. Carlos:

O artigo está sendo avaliado por revisor da Revista BJFT, provavelmente nos próximos dias teremos o retorno do mesmo e lhe daremos uma nova posição.

Att.

Lucia

Secretaria/BJFT

**Maria Lucia Cordeiro**

Técnico de Apoio a Pesquisa

Banco de Dados/Diretoria Geral

Instituto de Tecnologia de Alimentos - www.ital.sp.gov.br

lucia@ital.sp.gov.br | 19 3743-1794

Av. Brasil, 2880 - Jardim Chapadão - Campinas - SP

On 28/04/2015 17:51, Carlos Andres Rengifo Guerrero wrote:

Abril 28 de 2015

Señores

**CUERPO EDITORIAL**

Brazilian Journal of Food Technology

Por medio del presente correo quisiera consultarles el avance de revisión del articulo titulado "AGROINDUSTRIAL POTENTIAL OF COCONA (*Solanum sessiliflorum Dunal*) PULP, PEELS AND SEEDS" con código BJFT 43/2014.

El articulo fue enviado el 5 de marzo de 2015, con la respuesta a las correcciones propuestas por los revisores.

Atentamente,

**Liliana Serna Cock**

Autor

--

Serna, L., Vargas, D., Ayala, A. 2014. Efecto de la liofilización sobre algunas Propiedades Físicoquímicas de Cocona (*Solanum sessiliflorum Dunal*). **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, 67(2) Supl. II, pp. 218-219.

## Efecto de la Liofilización sobre algunas Propiedades Físicoquímicas de Cocona (*Solanum Sessiliflorum Dunal*)

### Effect of Freeze-Drying on some Physicochemical Properties of Cocona (*Solanum Sessiliflorum Dunal*)

Liliana Serna C.<sup>1</sup>, Diana P. Vargas Muñoz<sup>2</sup> Alfredo Ayala A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, Valle, Colombia lserna@unal.edu.co

<sup>2</sup> Instructora, SENA, Centro Agropecuario de Buga, Regional Valle. dipvargasmu@unal.edu.co.

<sup>3</sup> Profesor, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle. alfredo.ayalal@correounivalle.edu.co

**Resumen.** Como alternativas de agroindustrialización de frutos de cocona, se evaluó el efecto de la liofilización (-45°C, 3,0±0,7 Pa) sobre cambios en algunas características físicoquímicas como actividad de agua, contenido de ácido ascórbico, y color de pulpa, pulpa+semillas y rodajas. Se utilizó un diseño unifactorial con tres niveles. Se encontró que la liofilización, retiene hasta en 87% el contenido de ácido ascórbico, garantiza la estabilidad en el almacenamiento, incrementa la claridad, y la pureza de color, y conserva el tono característico de la pulpa de cocona.

**Palabras clave:** Fruta exótica, ácido ascórbico, aw, color, agroindustrialización.

**Abstract.** As agroindustrialization alternatives, the effect of freeze-drying (-45°C, 3.0±0.7 Pa) of cocona fruit on changes in some physicochemical properties as water activity, ascorbic acid and Color of pulp, pulp+seed and slices was evaluated. Univariate design was used. It was found that freeze-drying retains up to 87% ascorbic acid content, ensures the storage stability, and increases the clarity and color purity, preserving the characteristic tone of the pulp of cocona fruit.

**Keywords:** exotic fruit, ascorbic acid, aw, color, agro-industrialization.

#### INTRODUCCIÓN

Cocona (*Solanum Sessiliflorum Dunal*) es una fruta amazónica empleada como alimento, medicamento y cosmético, tiene sabor distintivo y exótico lo cual la hace una materia prima prometedora para agroindustrialización. El proceso de agroindustrialización para esta fruta debe garantizar la calidad de sus características nutritivas, organolépticas y nutraceuticas (Silva *et al.*, 2010). Por esta razón la deshidratación mediante liofilización es un proceso que podría resultar conveniente. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la liofilización sobre cambios en algunas características físicoquímicas de pulpa, pulpa+semilla y rodajas de cocona, como una alternativa de agroindustrialización del producto.

#### MATERIALES Y METODOS

Se utilizó cocona con de índice de madurez 5 (Agronet, 2006). Las frutas fueron lavadas, desinfectadas y secadas. Dos partes de la fruta se despulparon para obtener pulpa, pulpa+semilla, la tercera parte, se rebano en rodajas de 5 mm de espesor. Los tres productos descritos se congelaron a -38±2 °C durante 60 minutos (EYELA, Japón) y posteriormente se liofilizaron durante 32 horas a temperatura de -45°C con presión de 3,0±0,7 Pa (EYELA PRF-1000, Japón).

En fruta fresca y liofilizada se midió actividad de agua (AquaLab, USA), contenido de ácido ascórbico (RQflex,

$$C^* = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (Ec.1) \quad h_{ab} = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad (Ec.2)$$

$$E = \sqrt{(L_0^* - L_p^*)^2 + (a_0^* - a_p^*)^2 + (b_0^* - b_p^*)^2} \quad (Ec.3)$$

Alemania) y color (CIELab, L, a\* y b\*, Minolta, Japón). Se calculó el tono ( $h_{ab}$ ) (ecuación 1), croma ( $C^*$ ) (ecuación 2) y cambio total de color ( $\Delta E$ ) (ecuación 3).

Se utilizó un diseño unifactorial (producto de cocona liofilizado), con tres niveles, pulpa, pulpa+semilla y rodajas. Los resultados se analizaron mediante ANOVA. Los experimentos se realizaron por triplicado. Para establecer diferencias significativas entre medias se aplicó la prueba de Tukey con una probabilidad de  $P < 0,05$ .

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se observan valores de aw inferiores a 0,283 en los tratamientos liofilizados, lo cual indica que el producto es estable en el almacenamiento (Ayala *et al.*, 2010). No hubo diferencia significativa entre los valores de aw de los tratamientos liofilizados ( $p > 0,0001$ ).

El contenido de ácido ascórbico en cocona fresca es similar a los valores reportados por Silva *et al.* (1999). La retención del ácido ascórbico en fruta liofilizada fue del 87,5%, 85% y 44,8% para pulpa, pulpa+semilla y rodajas respectivamente. Los porcentajes de retención de ácido ascórbico en pulpa y pulpa+semillas se encuentran dentro de lo reportado, la liofilización puede retener la cantidad de ácido ascórbico gracias a que el tratamiento se realiza con bajas temperaturas, obteniendo el mínimo deterioro de esta vitamina hidrosoluble.

La Tabla 2 muestra que los valores de L\* de cocona liofilizada fueron superiores a los de cocona fresca, esto demuestra que el

producto liofilizado fue más claro (indicador de aceptabilidad en el mercado). No se evidenció diferencias significativas en el tono, lo cual indica que se conservó el color natural de la cocona. El croma se incrementó significativamente ( $p < 0,0001$ ) en todos los tratamientos liofilizados respecto a la fresca, lo cual indica que las muestras liofilizadas presentaron mayor viveza y concentración del pigmento característico de la cocona. Con respecto al  $\Delta E^*$  se evidenció que todos los tratamientos liofilizados se incrementaron significativamente ( $p < 0,0001$ ) con respecto al fresco, sin embargo, entre los tratamientos las diferencias no fueron significativas.

**Tabla 1.** Actividad de agua y ácido ascórbico en cocona fresca y liofilizada. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre los valores de aw. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre los valores de ácido ascórbico.

Muestras	L*	$h_{ab}$	C*	$\Delta E^*$
Pulpa fresca	40,707 $\pm$ 0,357 <sup>A</sup>	0,766 <sup>a</sup>	4,652 <sup>a</sup>	
Pulpa liofilizada	78,410 $\pm$ 0,046 <sup>B</sup>	1,471 <sup>c</sup>	31,423 <sup>b</sup>	46,990 $\pm$ 0,301
Pulpa+semillas fresca	39,833 $\pm$ 0,341 <sup>A</sup>	0,760 <sup>a</sup>	4,674 <sup>a</sup>	
Pulpa+semillas liofilizada	84,240 $\pm$ 0,654 <sup>B</sup>	1,566 <sup>d</sup>	28,150 <sup>b</sup>	51,013 $\pm$ 0,720
Rodajas fresca	40,237 $\pm$ 0,255 <sup>A</sup>	0,860 <sup>b</sup>	6,361 <sup>i</sup>	
Rodajas liofilizadas	82,147 $\pm$ 0,622 <sup>B</sup>	1,560 <sup>d</sup>	33,622 <sup>i</sup>	50,994 $\pm$ 0,870

**Tabla 2.** Atributos de color de cocona fresca y liofilizada. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre los valores de L\*. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre los valores de tono (hab) y croma (C\*).

Muestras	a Fresco	a Liofilizado	Acido ascórbico (mg/100 g de producto fresco)	Acido ascórbico (mg/100 g de producto liofilizado)
Pulpa	0,873 $\pm$ 0,003 <sup>A</sup>	0,283 $\pm$ 0,006 <sup>B</sup>	8,48 <sup>a</sup>	7,42 <sup>b</sup>
Pulpa+semillas	0,873 $\pm$ 0,002 <sup>A</sup>	0,207 $\pm$ 0,038 <sup>B</sup>	7,51 <sup>b</sup>	6,38 <sup>c</sup>
Rodajas	0,877 $\pm$ 0,004 <sup>A</sup>	0,250 $\pm$ 0,034 <sup>B</sup>	12,28 <sup>a</sup>	5,50 <sup>d</sup>

### CONCLUSION

La liofilización de cocona genera productos altamente estables en el almacenamiento, debido a que presentaron aw menores a 0,4. Además, retiene un alto porcentaje de ácido ascórbico, incrementa la claridad (no pardeamiento), y la pureza de color (mayor viveza), y conserva el tono característico de la pulpa. La semilla en la pulpa no interfirió en los parámetros evaluados.

### AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Control de Calidad de Alimentos, Centro Agropecuario de Buga CAB, SENA.

### BIBLIOGRAFIA

- Agronet, 2006. Capítulo 6. Aspectos generales de la cocona. En: Agronet, <http://201.234.78.28:8080/jspui/handle/123456789/764> 18 p.; consulta: octubre 2012.
- Ayala, A., L. Serna, y E. Mosquera. 2010. Liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Vitae*, 17(2): pp.121-27.
- Silva, D. *et al.*, 1999. Correlações fenotípicas, genéticas e ambientais entre descritores morfológicos e químicos em frutos de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) da Amazônia. *CiÊNCIAS*, 18: p.08.
- Silva, M. *et al.*, 2010. Processamento e avaliação da farinha de cubiu em diferentes condições de armazenamento.

## Bibliografía

Agnieszka, C., & Andrzej, L. (2010). Rehydration and sorption properties of osmotically pretreated freeze-dried strawberries. *Journal of Food Engineering*, 97(2), 267-274.

Ajila, C., Bhat, S. & Prasada, U., 2007. Valuable components of raw and ripe peels from two Indian mango varieties. *Food Chemistry*, (102), pp.1006-11.

Alzate, L., Arteaga, D. & Jaramillo, Y., 2011. Evaluación de usos potenciales del desecho del fruto del algarrobo (*Hymenaea courbaryl* L.) -cáscara y semillas- como conservante natural para alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*, 8(1), pp.90-95.

Andrade Júnior, M.C.D. & Andrade, J.S., 2012. Physicochemical changes in cubiu fruits (*Solanum sessiliflorum* Dunal) at different ripening stages. *Food Science and Technology (Campinas)*, 32(2), pp.250-54.

Andrade, J., Coelho, E., Oliveira, A. & Silva Filho, D., 2010. Postharvest Conservation of Cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) Fruits in Response to Passive Modified Atmosphere Associated with Refrigeration. *Acta Horticulturae*, 864, pp.439-44.

AOAC, (1990). Moisture in dried fruits (Method 934.06). In *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists*. Arlington, USA. pp.911-912.

AOAC, 1990. Cenizas (Method 942.05). In *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Arlington, Virginia, USA.

AOAC, 1990. Extracto etéreo (Method 920.39). In *Official Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 15th ed. Arlington, Virginia, USA.

AOAC, 1990. Método Kjeldhal (Method 32.1.22). In *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Arlington, Virginia, USA.

AOAC, 1997. Fiber (acid detergent) and lignin in animal feed (Method 973.18). In Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 16th ed. Washington D.C., USA: AOAC International.

AOAC, 2000. Fruits and fruit products - Refractometric (Method 932.12). In International, A. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. Arlington, Virginia, USA.

AOAC, 2000. Fruits and fruit products - Acidity (titratable) of fruit products (Method 942.15A). In International, A. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. Arlington, Virginia, USA. p.11.

Araya, C., Rojas, C. & Velázquez, C., 2010. Síntesis de ácido láctico, a través de la hidrólisis enzimática simultánea a la fermentación de un medio a base de un desecho de piña (*Ananas comosus*), para su uso como materia prima en la elaboración de ácido poliláctico. Revista iberoamericana de polímeros, 11(7), pp.407-16.

Arco, A., Becera, M., Benítez, A. & Díaz, J., 2004. Proyecto: "Desarrollo de biocomercio sostenible en la región amazónica colombiana". Bogotá D.C.: Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt.

Arriola, E., García, T., Guatemala, G.M., Nungaray, J., González, O., & Ruíz, J.C., 2006. Comportamiento del aguacate hass liofilizado durante la operación de rehidratación. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 5(Su1), pp.51-56.

Ashok, K., Narayani, M., Subanthini, A. & Jayakumar, M., 2011. Antimicrobial activity and phytochemical analysis of citrus fruit peels - Utilization of fruit waste. International journal of engineering science and technology (IJEST), 3(6), pp.5414-5421.

Uchoa, A.M., da Costa, J.M., Maia, G.A., Meira, T.R., Sousa, P.H., & Brasil, I.M., 2009. Formulation and Physicochemical and Sensorial Evaluation of Biscuit-Type Cookies Supplemented with Fruit Powders. Plant Foods for Human Nutrition, 64(2), pp.153-59.

Ayala, A., Giraldo, C. & Serna Cock, L., 2010a. Cinéticas de deshidratación osmótica de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Revista Interciencia*, 35(7), pp.539-554.

Ayala, A., Serna, L. & Mosquera, E., 2010b. Liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Vitae, Revista de la facultad farmacéutica*, 17(2), pp.121-127.

Badui Dergal, S., 2006. *Química de los alimentos*. Cuarta Edición ed. México: Pearson Educación.

Barbosa, G. & Vega, H., 2000. *Deshidratación de alimentos*. Zaragoza, España.: Editorial ACRIBIA, S.A.

Barrera, J., Hernandez, M. & Melgarejo, L., 2011. *Estudio ecofisiológicos en la Amazonia colombiana*. Colombia: Digiprint Editores E.U.

Barreto, G., Benassi, M. & Mercadante, A., 2009. Bioactive compounds from several tropical fruits and correlation by multivariate analysis to free radical scavenger activity. *Journal of the brazilian chemical society*, 20(10), pp.1856-61.

Barreto, H., 1966. *Liofilización. Un método de secado para alimentos*. Lima, Perú: Instituto Interamericano de ciencias agrícolas de la OEA. Zona Andina.

Benlloch, M., Moraga, G., del Mar, M. & Martínez, N., 2013. Combined Drying Technologies for High-Quality Kiwifruit Powder Production. *Food and bioprocess technology*, 6(12), pp.3544-3553.

Bicas, J.L., Molina, G., Dionísio, A.P., Barros, F.F., Wagner, R., Maróstica, M.R., Pastore, G.M., 2011. Volatile constituents of exotic fruits from Brazil. *Food Research International*, (44), pp.1843-1855.

Boufleuher, L. et al., 2008. In vitro propagation of *Solanum Sessiliflorum* as affected by auxin and cytokinin combinations and concentrations. *Journal of plant sciences*, 7(7), pp.639-46.

Brown, H. & Williams, J., 2003. Packaged product quality and shelf life. In Coles, R., McDowell, D. & Kirwan, M. Food Packaging Technology. USA: CRC Press. pp.65-94.

Caceres, L., Andrade, J. & Silva, D., 2012. Effects of peeling methods on the quality of cubiu fruits. Food Science and Technology (Campinas), 32(2), pp.255-260.

Caicedo, L., 2010. Determinación del tiempo de vida útil de pitahaya amarilla liofilizada y osmoliofilizada. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Tesis, pp.1-76.

Camire, M., Dougherty, M. & Briggs, J., 2007. Functionality of fruit powders in extruded corn breakfast cereals. Food chemistry, 01(1), pp.765-70.

Cano, M., Stringheta, P.C., Ramos, A.M. & Cal-Vidal, J., 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. Innovative food Science and Emerging Technologies, 6(4), pp.420-428.

Cardona, J., Cuca, L. & Barrera, J., 2011. Determinación de algunos metabolitos secundarios en tres morfotipos de cocona (*Solanum sessiliflorum Dunal*). Revista colombiana de química, pp.185-200.

Ceballos, 2008. Estudio comparativo de tres sistemas de secado para la producción de un polvo deshidratado de fruta. Tesis. Maestría en Ingeniería - Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia - sede Manizales.

Ceballos, A., Giraldo, G. & Orrego, C., 2012. Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. Journal of food engineering, 111(2), pp. 360-365.

Cerón, A., Osorio, O. & Hurtado, A., 2012. Identificación de ácidos grasos contenidos en los aceites extraídos a partir de semillas de tres diferentes especies de frutas. Acta agronómica, 61(2), pp.126-32.

Chang, C.H., Lin, H.Y., Chang, C.Y. & Lin, Y.C., 2006. Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. Journal of food engineering, 77(3), pp.478-85.

Chau, C.F. & Huang, Y.L., 2004. Characterization of passion fruit seed fibers - a potential fiber source. *Food Chemistry*, (85), pp.189-94.

Chen, M.F., 2011. The mediating role of subjective health complaints on willingness to use selected functional foods. *Food quality and preference*, 22(1), pp.110-118.

Costa, J.N., Figueiredo, R.W., de Sousa, P.H., da Costa Gonzaga, M.L., Constant, P.B., & Soares, D.J., 2013. Study of the stability of passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) powder from organic farming. *Semina: Ciências Agrárias*, 34(2), pp.705-16.

Cui, Z. W., Li, C. Y., Song, C. F., & Song, Y., 2008. Combined Microwave-Vacuum and Freeze Drying of Carrot and apple chips. *Drying technology*. Taylor & Francis, 26(12), pp.1517-23.

Cuq, B., Rondet, E. & Abecassis, J., 2011. Food powders engineering, between knowhow and science: constraints, stakes and opportunities. *Powder technology*, 208(2), pp.244-51.

Curia, A., Garitta, L., Restrepo, P. & Lopez, C., 2005. Metodología en punto de corte. In G. Hough & J. Fiszman, eds. *Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos*. Valencia: CYTED-ISETA-CSIC. p.111.

Dak, M., Sagar, V. & Jha, S., 2014. Shelf-life and kinetics of quality change of dried pomegranate arils in flexible packaging. *Food packaging and shelf life*, 2(1), pp.1-6.

Dawson, J.B., 1986. Analytical atomic spectroscopy in biology and medicine. *Fresenius' Zeitschrift für analytische Chemie*, 324(5), pp.463-71.

de Sousa, A.S., Borges, S.V., Magalhães, N.F., Ricardo, H.V., & Azevedo, A.D, 2008. Spray-dried tomato powder: reconstitution properties and colour. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 1(4), pp.807-14.

Díaz, R.L., 2010. Adición de maltodextrina o goma arábiga a pulpa de fresa para la obtención de polvos liofilizados estables durante el almacenamiento. Tesis. Universidad

de las Américas Puebla. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos.

Dormond, H., Rojas, A., Boschini, C., Mora, G., Sibaja, G., 2011. Evaluación preliminar de la cáscara de banano maduro como material de ensilaje, en combinación con pasto King Grass (*Pennisetum purpureum*). Revista electrónica de las sedes regionales de la Universidad de Costa Rica, 12(23), pp.17-31.

Duan, X., Ding, L., Ren, G. Y., Liu, L. L., & Kong, Q. Z., 2013. The drying strategy of atmospheric freeze drying apple cubes based on glass transition. Food and bioproducts processing, 91(4), pp.534-38.

Duan, X., Zhang, M., Mujumdar, A.S. & Wang, R., 2010. Trends in microwave-assisted freeze-drying of foods. Drying technology. Taylor & Francis Group, LLC., 28(4), pp.444-53.

Durán, S., Carrasco, E. & Araya, M., 2012. Food and diabetes. Nutr Hosp., 27(4), pp.1031-36.

Eastman, J.E. & Moore, C.O., 1984. Cold water soluble granular starch for gelled food composition. U.S.(Patent 4465702).

Ee, S.C., Bakar, J., Kharidah, M., Dzulkifly, M.H., Noranizan, A., 2014. Physico-chemical properties of spray-dried red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel powder during storage. International Food Research Journal, 21(3), pp.1213-1218.

Evranuz, E., Sinha, N. & Hui, Y., 2011. Drying vegetables: new technology, equipment and examples. In Handbook of vegetables and vegetable processing. Jhon Wiley & Sons. pp.299-315.

Fabra, M., Márquez, E., Castro, D. & Chiralt, A., 2011. Effect of maltodextrins in the water-content–water activity–glass transition relationships of noni (*Morinda citrifolia* L.) pulp powder. Journal of food engineering, 103(1), pp.47-51.

Fennema, O., 1993. Química de los Alimentos. Zaragoza, Spain: Editorial Acribia.

Fitzpatrick, J.J. & Ahrné, L., 2005. Food powder handling and processing: Industry problems, knowledge barriers and research opportunities. *Chemical Engineering and Processing*, 44(2), pp.209-14.

García, C. & Molina, M., 2008. Estimación de la vida útil de una mayonesa mediante pruebas aceleradas. *Ingeniería*, 1, 2(18), pp.57-64.

García, M., Calvo, M. & Selgas, M., 2009. Beef hamburgers enriched in lycopene using dry tomato peel as an ingredient. *Meat Science*, (83), pp.45-49.

Gonzales, A., 2007. Frutales nativos amazónicos. Patrimonio alimenticio de la humanidad. 1st ed. Iquitos. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana.

Loaiza, D.I.G., Santos, L.E.O., Mahecha, P.V., & Amariles, H.D.V., 2014. Cambios en las propiedades fisicoquímicas de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) cosechados en tres grados de madurez. *Acta Agronómica*, 63(1), pp. 11-17.

Gordon, A., Cruz, A., Cabral, L., de Freitas, S., Taxi, C., Donangelo, C., Andrade, R., Friedrich, M., Martins, V., Marx, F., 2012. Chemical characterization and evaluation of antioxidant properties of Açaí fruits (*Euterpe oleraceae* Mart.) during ripening. *Food Chemistry*, 133(2), pp.256-63.

Goula, A. & Adamopoulos, K., 2005. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. *Journal of food engineering*, 66(1), pp.35-42.

Grajales, L., Cardona, W. & Orrego, C., 2005. Liofilización de carambola (*averrhoa carambola* L.) osmodeshidratada. *Ingeniería y competitividad*, 7(2), pp.19-26.

Grigelmo, N. & Martin, O., 1999. Comparison of dietary fiber from by products of processing fruits and greens and from cereals. *LWT*, 32(8), pp.503-08.

Guiné, R. & Barroca, M., 2012. Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). *Food and bioproducts processing*, 90(1), pp.58-63.

Guiné, R., Henriques, F. & Barroca, M., 2011. Valorização de produtos hortícolas: estudo do efeito da secagem nas propriedades físicas de cucurbitáceas. CLME, (4401A).

Gutiérrez, A., Criollo, D. & Lugo, J., 2005. Oferta real, área y volúmenes de producción en frutales amazónicos en el departamento de Putumayo. Florencia: Corpoica - Corpoamazonia.

Gutiérrez, T., Hoyos, O. & Páez, M., 2007. Determinación del contenido de ácido ascórbico en uchuva (*Physalis peruviana* L.), por cromatografía líquida de alta resolución (CLAR). Facultad de Ciencias Agropecuarias, 5(1), pp.70-79.

Guzmán, O., Lemus, C., Bugarín, J., Bonilla, J., Ly, J., 2010. Ensilado de residuos de mango (*Mangifera indica* L.) para la alimentación animal. Características fermentativas. Revista computadorizada de producción porcina, 17(3), pp.218-24.

Harnkarnsujarit, N. & Charoenrein, S., 2011. Influence of collapsed structure on stability of  $\beta$ -carotene in freeze-dried mangoes. Food research international, 44(10), pp.3188-94.

Henríquez, C., Córbova, A., Lutz, M. & Saavedra, J., 2013. Storage stability test of apple peel powder using two packaging materials: High-density polyethylene and metalized films of high barrier. Industrial Crops and Products, 45, pp.121-27.

Hernandez, M. & Barrera, J., 2004b. Bases técnicas para el aprovechamiento industrial de especies nativas de la amazonia. Bogotá, Colombia: Editora Guadalupe Ltda.

Hernández, M.S.; Barrera, J.; Páez, D.; Oviedo, E.; Romero, R., 2004a. Capítulo 6. Aspectos generales de la cocona. In Aspectos biológicos de conservación de frutas promisorias de la amazonia colombiana. Bogotá, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI. pp.118-135.

Hernández, M. S., Barrera, J., Carrillo, M., Bardales, X., Martínez, O., & Fernandez-Trujillo, J., 2007. Manejo, uso y aprovechamiento de frutales nativos de la amazonia colombiana. V Congreso iberoamericano de tecnología postcosecha y agroexportaciones, Cartagena, Murcia, España, pp.493-503.

Ibarz-Martínez, R., Pagán, J., Garza, S. & Ibarz, A., 2010. Browning of clarified lemon juices treated at high temperatures. *Scientia Agropecuaria*, 1, pp.07-20.

Ibarz, A., Pagán, J. & Garza, S., 1999. Kinetic models for colour changes in pear puree during heating at relatively high temperatures. *Journal of food engineering*, 39(4), pp.415-22.

Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, 2008. Colombia Frutas de la Amazonia. 1st ed. Bogotá: Alen Impresores.

Izquierdo, J. F., 2004. Cinética de las reacciones químicas (Vol. 16). Edicions Universitat Barcelona.

Jambrak, A., Mason, T., Paniwnyk, L. & Lelas, V., 2007. Accelerated drying of button mushrooms, Brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties. *Journal of food engineering*, 81(1), pp.88-97.

Jaya, S. & Das, H., 2005. Accelerated storage, shelf life and color of mango powder. *Journal of food processing and preservation*, 29(1), pp.45-62.

Jena, S. & Das, H., 2012. Shelf life prediction of aluminum foil laminated polyethylene packed vacuum dried coconut milk powder, 108(1), pp.135-142.

Jiang, H., Zhang, M., Adhikari, B., Bhandari, B., Bansal, N., Schuck, P., 2013. Fruit and vegetable powders. *Handbook of food powders: processes and properties*, pp.532-52.

Jiang, H., Zhang, M. & Mujumdar, A.S., 2010. Microwave freeze-drying characteristics of banana crisps. *Drying technology*, 28(12), pp.1377-1384.

Karelovic-Martinez, F., 2012. Influencia del método de congelación en el daño microestructural de arándanos liofilizados. Tesis - Universidad de Chile.

Kasper, J.C. & Friess, W., 2011. The freezing step in lyophilization: physico-chemical fundamentals, freezing methods and consequences on process performance and quality

attributes of biopharmaceuticals. *European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics*, 78(2), pp.248-63.

Kaushik, V. & Roos, Y.H., 2007. Limonene encapsulation in freeze-drying of gum Arabic-sucrose-gelatin systems. *LWT-Food Science and Technology*, 40(8), pp.1381-1391.

Khalloufi, S., Almeida-Rivera, C. & Bongers, P., 2010. A fundamental approach and its experimental validation to simulate density as a function of moisture content during drying processes. *Journal of food engineering*, 97(2), pp.177-87.

Khalloufi, S., Robert, J.-L. & Ratti, C., 2004. Simulation mathématique de la cinétique de la lyophilisation. Département des Sols et Génie Alimentaire, Pavillon Comtois, Université Laval, Sainte-Foy.

Konica Minolta, 2003. Precise colour communication.

Krokida, M., Karathanos, V., Maroulis, Z. & Marinos-Kouris, D., 2003. Drying kinetics of some vegetables. *Journal of Food Engineering*, 59(4), pp.391-403.

Krokida, M., Kiranoudis, C. & Maroulis, Z., 1999. Viscoelastic behaviors of dehydrated products during rehydration. *Journal of food engineering*, 40(4), pp.269-77.

Krokida, M., Maroulis, Z. & Saravacos, G., 2001. The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. *International Journal of Food Science and Technology*, 36(1), pp.53-59.

Kumar, P. & Mishra, H., 2004. Storage stability of mango soy fortified yoghurt powder in two different packaging materials: HDPP and ALP. *Journal of Food Engineering*, 65(4), pp.569-76.

Lab-Ferrer Decagon Devices Inc., 2008. MSc. Alba Veranay Díaz Corrales. Ficha técnica. Actividad de agua. [Online] Available at: <http://avdiaz.files.wordpress.com/2008/09/actividad-del-agua.pdf> [Accessed 11 October 2012].

Labuza, T.P. & Schmidl, M., 1985. Accelerated shelf-life testing of foods. *Food Technology*, 39, pp.57-64.

Labuza, T.P., 1984. Application of chemical kinetics to deterioration of foods. *Journal of Chemical Education*, 61(4), p.348.

Lee, K., Farid, M. & Nguang, S., 2006. The mathematical modeling of the rehydration characteristics of fruits. *Journal of food engineering*, 72(1), pp.16-23.

Levi, G. & Karel, M., 1995. Volumetric shrinkage (collapse) in freeze-dried carbohydrates above their glass transition temperature. *Food Research International*, 28(2), pp.145-51.

Llanos, D., López, D. & Mora, F., 2008. Ensiling potential of orange fruit wastes (*Citrus sinensis*). *Revista Ciencias técnicas agropecuarias*, 17(2), pp.41-44.

Madiouli, J., Sghaier, J., Lecomte, D. & Sammouda, H., 2012. Determination of porosity change from shrinkage curves during drying of food material. *Food and bioproducts processing*, 90(1), pp.43-51.

Malagón, D., 2003. Ensayo sobre tipología de suelos colombianos - Énfasis en génesis y aspectos ambientales. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 27(104), pp.319-41.

Marín, E., Lemus, R., Flores, V. & Vega, A., 2006. La rehidratación de alimentos deshidratados. *Revista chilena de nutrición*, 33(3), 527-538.

Maroder, H.L., 2008. Reacciones de deterioro de semillas: aspectos fisiológicos, químicos y ultraestructurales. Tesis doctora. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires, pp. 1-124.

Marques, L.G. & Freire, J.T., 2005. Analysis of freeze-drying of tropical fruits. *Drying Technology*, 23(9-11), pp.2169-2184.

Marques, L.G., Ferreira, M.C. & Freire, J.T., 2007. Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra* L.). *Chemical engineering and processing*, 46(5), pp.451-57.

Marques, L.G., Prado, M.M. & Freire, J.T., 2009. Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. *Food Science and technology*, 42(7), p.1232-1237.

Marques, L.G., Silveira, A.M. & Freire, J.T., 2006. Freeze-drying characteristics of tropical fruits. *Drying technology*, 24(4), pp.457-463.

Martínez, N., Andrés, A., Chiralt, A. & Fito, P., 1998. *Termodinámica y cinética de sistemas alimento entorno*. Servicio de publicaciones.

Meléndez, A., Bejines, E., Vicario, I. & Heredia, F., 2004. Vitamin C in orange juices determined by HPLC: influence of the wavelength of detection. *Italian Journal of food science*, 16(1), pp.79-85.

Menlik, T., Ozdemir, M.B. & Kirmaci, V., 2010. Determination of freeze-drying behaviours of apples by artificial neural network. *Expert systems with applications*, 37(12), pp.7669-7677.

Miguel, P. & Sarmiento, Y., 2009. Hipertensión arterial, un enemigo peligroso. *Acimed*, 20(3), pp.92-100.

Montaño, M.A., 2013. Estudio del comportamiento físico y mecánico de una película coextruida de tres capas LLDPE y HDPE - Nylon 6.6 - LLDPE como aplicación de empaque al vacío para la empresa Polietilenos del Valle S.A. Tesis. Escuela de Ingeniería de Materiales. Universidad de San Buenaventura, pp. 1-82.

Mosquera, L.H., Moraga, G. & Martínez-Navarrete, N., 2012. Critical water activity and critical water content of freeze-dried strawberry powder as affected by maltodextrin and arabic gum. *Food research international*, 47(2), pp.201-06.

Muñoz, F., 2011. Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir del fruto de dos ecotipos de cocona (*Solanum sessiliflorum*), en diferentes grados de madurez; a nivel de planta piloto. Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia.

Murrieta, I., Gaiani, C., Galet, L., Calvet, R., Cuq, B., & Scher, J., 2012. Food powders: Surface and form characterization revisited. *Journal of food engineering*, 112(1), pp.1-21.

Nascimento, G. & Pereira, I., 2011. Avaliação da atividade antioxidante das partes da fruta cubiu (*Solanum sessiliflorum*). VII Jornada de Iniciação Científica. Universidade Presbiteriana Mackenzie, p.13 p.

Natividad, L. & Cáceres, J., 2013. Some technical aspects related to freeze-drying of cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) pulp. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4(2), pp.207-18.

Navarrete, C., Gil, J., Durango, D. & Garcia, C., 2010. Extracción y caracterización del aceite esencial de mandarina obtenido de residuos agroindustriales. *Dyna*, 77(162), pp.85-92.

Ocampo, J., 2003. Determinación de la vida de anaquel del café soluble elaborado por la empresa Decafé S.A. y evaluación del tipo de empaque en la conservación del producto. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y arquitectura. Ingeniería Química, Tesis, pp.1-104.

Oliveira, C., Vilela, J., Torres, M. & Ribeiro, R., 2010. The effects of added sugars and alcohols on the induction of crystallization and the stability of the freeze-dried peki (*Caryocar brasiliense* Camb.) fruit pulps. *Food Science and technology*, 43(6), pp.934-41.

Ordosgoitía, F. & Romero, J., 2007. Estudio de la influencia de diferentes procesos de secado sobre algunas propiedades físicas de rodajas de banano. Universidad de la Sabana.

Orrego, C.E., 2008. Congelación y liofilización de alimentos. Primera ed. Manizales, Caldas, Colombia: Artes gráficas Tizan Ltda. Manizales, por solicitud de la Gobernación de Caldas, Secretaría de Educación, Programación de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD y la Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales.

Orrego, C.E., Pamplona, F.D. & Perez, V.H., 2009. Low pressure water diffusivity measurements of freeze-dried tomato tree (*Cyphomandra Betacea* (Cav) Send) Juice. *International review of chemical engineering*, 1(5), pp.1-8.

Ortega, E., 2009. Bulk properties of food particulate materials: an appraisal of their characterization and relevance in processing. *Food and bioprocess technology*, 2(1), pp.28-44.

Paez, D., Barrera, J. & Oviedo, E., 2001. Caracterización fisicoquímica y bromatológica de tres ecotipos de cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) cultivados en el piedemonte caqueteño. *Momentos de ciencia*, pp.11-22.

Paiva, D., 2006. Estudo bioquímico de algumas características da peroxidase, polifenoloxidase e pectinametilesterase de amora preta (*Rubus* spp). Dissertação. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, pp.1-87.

Pardo, M. & Niranjana, K., 2011. Modelación de la relación entre la cinética de congelación y la cinética de sublimación en extractos de café. *Ingeniería y competitividad*, 8(2), pp.25-33.

Pardo, M., 2004. Efecto de *Solanum sessiliflorum* Dunal sobre el metabolismo lipídico y de la glucosa. *Ciencia e investigación*, VII(2), pp.43-48.

Paredes, D., 2010. Evaluación nutricional de cocona deshidratada por método de bandejas a tres temperaturas. Escuela superior politécnico de Chimborazo. Tesis de grado para optar al título de Químico Farmacéutico, pp.1-114.

Perez, J. & Soler, J., 2008. Proyecto de inversión para la industrialización y comercialización del néctar de cocona. Tesis para optar el título de ingeniero industrial. Universidad Ricardo Palma.

Pires, A. M. B., Silva, P. S., Nardelli, P. M., Gomes, J. C., & Ramos, A. M., 2006. Caracterização e processamento de cubiu (*solanum sessiliflorum*). *Revista Ceres*, 53(307), pp.309-16.

Posada, C., 2011. Recopilación de estudios de tiempo de vida útil de productos nuevos y ya existentes de la compañía de galletas NOEL S.A.S. Informe de práctica empresarial

para optar al título de Ingeniería de Alimentos. Corporación Universitaria Lasallista. Facultad de ingeniería, pp.32-34.

Prado, S., Buera, M.P. & Elizalde, B.E., 2006. Structural Collapse Prevents  $\beta$ -Carotene Loss in a Supercooled Polymeric Matrix. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(1), pp.79-85.

Proexport Colombia e Instituto Alexander von Humboldt, 2003. Estudio de mercado, frutas amazónicas en el estado de California, Estados Unidos. Bogotá, Colombia: Proexport Colombia -Instituto von Humboldt.

Pua, C., Sheikh Abd Hamid, N., Tan, C., Mirhosseini, H., Abd Rahman, R., Rusul, G., 2008. Storage stability of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) powder packaged in aluminum laminated polyethylene and metallized co-extruded biaxially oriented polypropylene during storage. *Journal of food engineering*, 89(4), pp.419-28.

Purnama, M., Yaghmaee, P., Durance, T. & Kitts, D., 2010. Porosity Changes and Retention of Ginsenosides in North American Ginseng Root Using Different Dehydration Processes. *Journal of food science. Institute of food technologists*, 75(7), pp.E487-92.

Queiroz, V.A., Berbert, P.A., Molina, M.A., Gravina, G.A., Queiroz, L.R., & Silva, J.Á., 2008. Qualidade nutricional de goiabas submetidas aos processos de desidratação por imersão-impregnação e secagem complementar por convecção. *Ciencia e tecnologia de alimentos*, 28(2), pp.329-40.

Quijano, C. & Pino, J., 2006. Change in volatile constituents during the ripening of cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) fruit. *Revista CENIC Ciencias Químicas* Vol. 37, pp.133-36.

Rahman, M. & Sablani, S., 2003. Structural characteristics of freeze-dried abalone: porosimetry and puncture test. *Food and bioproducts processing*, 81(4), pp.309-15.

Rahman, M., Al-Zakwani, I. & Guizani, N., 2005. Pore formation in apple during air-drying as a function of temperature: porosity and pore-size distribution. *Journal of the science of food and agriculture*, 85(6), pp.979-89.

Ramírez, J., 2011. Liofilización de alimentos. Universidad del Valle. Cali, Colombia.: Edición ReCiTelA, V.6 n.2.

Ramírez, K., Rojas, O., Alvarado, P. & Vega-Budrit, J., 2012. Obtención de xilosa a partir de desechos lignocelulósicos de la producción y proceso industrial de la piña (*Ananas comusus*). *Uniciencia*, 26(1 y 2), pp.75-89.

Rangel, M., 2004. Liofilización de guacamole. Puebla: Universidad de las Americas Puebla. Available at: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/) [accessed 31 Julio 2012].

Repo, R. & Encina, C.R., 2008. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Rev Soc Quím Perú*, 74(2), pp.108-24.

Rodriguez, I. & Piñeros, Y., 2009. Production of enzymatic complex in solid stat fermentation by *Trichoderma* sp. using palm oil empty fruit palm oil bunch (EFB) as substrate. *Vitae*, 14(2), 35-42.

Rodriguez, M., 2010. Pruebas de vida útil y diseño de etiqueta para néctar de curuba (*Passiflora tripartita* var. *Mollissima*) y gulupa (*Passiflora edulis* var. *edulis*). Trabajo final. Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia, pp.1-39.

Rogez, H., Buxant, R., Mignolet, E., Souza, J.N., Silva, E.M., & Larondelle, Y., 2004. Chemical composition of the pulp of three typical Amazonian fruits: araa-boi (*Eugenia stipitata*), bacuri (*Plantonia insignis*) and cupuacu (*Theobroma grandiflorum*). *European Food Research and Technology*, (218), pp.380-84.

Rondón, E., Pacheco, E. & Ortega, F., 2004. Estimación de la vida útil de una análogo comercial de mayonesa utilizando el factor de aceleración Q10. *Rev. Fac. Agron.*, 21(1), pp.68-83.

Sadikoglu, H., Ozdemir, M. & Seker, M., 2006. Freeze drying of pharmaceutical products: Research and development needs. *Drying technology*, 24(7), pp.849-861.

Saguy, I. & Karel, M., 1980. Modeling of quality deterioration during food processing and storage. In *Food Technology*. pp.78-85.

Salinas, R., Gonzalez, G., Pirovani, M. & Ulín, F., 2007. Modelación del deterioro de vegetales frescos cortados. *Universidad y ciencia*, 23(2), pp.183-96.

Santacruz, M.A., 2004. Estudio fenológico y reproductivo de la naranjilla (*Solanum quitoense* Lam), cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) y uchuva (*Physalis peruviana* Lam). Tesis. Ingeniería Agrónoma. Ciencia y producción agropecuaria.

Santos, P. & Silva, M., 2008. Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables—A review. *Drying Technology: An International Journal*, 26(12), pp.1421-37.

Serna-Cock, L. & García, E., 2011. Química agroindustrial. Manual de prácticas de laboratorio de bioconversiones. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, Facultad de Ingeniería y Administración.

Serna-Cock, L., Segura-Rojas, D.F. & Ayala-Aponte, A., 2011. Effect of the immersion in 1-Metylciclopropene on the physicochemical and physiological properties of yellow pitahaya fruit (*Selenicereus megalanthus* How) eighth minimum processing. *Acta agronómica*, 60(3), pp.225-35.

Serna, L., Mera, J., Angulo, J. & Gómez, A., 2013. Kinetics of alcoholic fermentation using guava (*Psidium guajava*) seed flour and dry mycelium of *Aspergillus niger* as nitrogen sources,. *Dyna*, 80(180), pp.113-21.

Shishegarha, F., Makhlof, J. & Ratti, C., 2002. Freeze-drying characteristics of strawberries. *Drying technology*, 20(1), pp.131-45.

Shofian, N. M., Hamid, A. A., Osman, A., Saari, N., Anwar, F., Pak Dek, M. S., & Hairuddin, M. R., 2011. Effect of Freeze-Drying on the Antioxidant Compounds and

Antioxidant Activity of Selected Tropical Fruits. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(7), pp.4678-92.

Silva, D.P., 2007. Armazenamento de sementes de cubiu (*Solanum sessiliflorum Dunal*): influencia da embalagem, do grau de umidade e da temperatura. Tesis de posgrado. Maestria en ciencia agrarias. Universidade Federal do Amazonas, pp.1-49.

Silva Filho, D. F., Andrade, J. S., Clement, C. R., Machado, F. M., & Hiroshi, N., 1999. Correlações fenotípicas, genéticas e ambientais entre descritores morfológicos e químicos em frutos de cubiu (*Solanum sessiliflorum Dunal*) da Amazônia. *Acta Amazonia*, 29(4), pp. 503-511.

Silva, D., Yuyama, L., Aguiar, J., Oliveira, M., Martins, L., 2005. Caracterização e avaliação do potencial agrônomico e nutricional de etnovariedades de cubiu (*Solanum sessiliflorum Dunal*) da Amazônia. *Acta amazonica*, pp.399-406.

Silva, D., 1998. Cocona (*Solanum sessiliflorum Dunal*) Cultivo y utilización. Caracas, Venezuela: Tratado de cooperación amazónica. Secretaria pro-tempore.

Silva, M., Aguiar, J., Souza, F., Carvalho, Y., Yuyama, L., 2010. Processamento e avaliação da farinha de cubiu em diferentes condições de armazenamento. XIX Jornada de Iniciação Científica PIBIC INPA, pp.1-4.

Stefanello, S., Schuelter, A. R., Scapim, C. A., Finger, F. L., Pereira, G. M., Bonato, C. M., Rocha, A.C. & Silva, J. M., 2010. Amadurecimento de frutos de cubiu (*Solanum sessiliflorum Dunal*) tratados com Etefon. *Acta Amazonica*, 40(3), pp.424-34.

Tafur, R.; Toro, J.C., González, H., García, R., Reyes, E., Bolaños, A., Méndez, A., 2006. Plan Frutícola Nacional. Cali: Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural, Fondo Nacional del Fomento Hortofrutícola, Asociación Hortofrutícola de Colombia, Sociedad de Agricultores y Ganaderos del Valle del Cauca.

Technology, A., n.d. in vitro true digestibility using the DAISYII incubator. Analytical Procedures. Fairport, NY. [Online] Available at: [http://www.ankom.com/media/documents/IVDMD\\_0805\\_D200.pdf](http://www.ankom.com/media/documents/IVDMD_0805_D200.pdf) [Accessed 17 diciembre 2012].

Torres, J., Pascual, G. & Salas, F., 2008. Estabilidad de la bixina soluble en aceite de girasol mediante el uso de pruebas aceleradas de vida útil (PAVU). *Anales científicos*, 69(4), pp.65-71.

Torres, V., 2010. Determinación del potencial nutritivo y funcional de guayaba (*Psidium guajava* L.), cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) y camu camu (*Myrciaria dubia* Vaugh). Tesis. Ingeniera agroindustrial. Escuela politécnica nacional.

Turcios, C. & Gordón, E., 2012. Desarrollo y evaluación de un puré concentrado de guayaba Taiwanesa (*Psidium guajava* L.) para bebidas. Tesis. Departamento de agroindustria alimentaria. Escuela Agrícola Panamericana, pp.1-36.

Ubando, J., Navarro, A. & Valdivia, M., 2005. Mexican lime peel: Comparative study on contents of dietary fiber and associated antioxidant activity. *Food Chemistry*, (89), pp.57-61.

Valdivieso, M., 2000. Proyecto productivo integrado cocona. Pucallpa, Perú: Proyecto desarrollo de agroempresas rurales.

Van Boekel, M.A., 2008. Kinetic Modeling of Food Quality: A Critical Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(1), pp.144-58.

Varga, F.J. & Kolodziej, B.J., 1974. The Copper, Iron, Zinc, Magnesium, Manganese, and Calcium Content of the Western Basin of Lake Erie. *Ohio Journal of Science*, 74(5), pp.325-29.

Voda, A., Homan, N., Witek, M., Duijster, A., van Dalen, G., van der Sman, R., Nijssen, J., van Vliet, L., Van As, H., van Duynhoven, J., 2012. The impact of freeze-drying on microstructure and rehydration properties of carrot. *Food Research International*, 49(2), pp.687-93.

Welti, J., Vergara, F., Pérez, E. & Reyes, A., 2005. Fundamentals and new tendencies of freeze-drying of foods. Universidad de las Américas. Segundo Simposio Internacional de Innovación y Desarrollo de Alimentos.

Witkiewicz, K. & Nastaj, F., 2010. Simulation strategies in mathematical modeling of microwave heating in freeze-drying process. *Drying technology*, 28(8), pp.1001-1012.

Yeom, G. & Song, C., 2010. Experimental and numerical investigation of the characteristics of spray-freeze drying for Various Parameters: effects of product height, heating plate temperature, and wall temperature. *Drying technology*. Taylor & Francis Group, LLC., 28(2), pp.165-79.

Yurdugül, S., 2008. An evaluation of the retention of quality characteristics in fresh and freeze-dried alpine strawberries. *International journal of food science and technology*, 43(5), pp.865-870.

Yuyama, L. K., Barros, S. E., Aguiar, J. P., & Yuyama, K., 2002. Quantificacao de fibra alimentar em Cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal), Camu Camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh) e Acai (*Euterpe oleracea* Mart). *Acta Amazonica*, 32(3), pp.491-497.

Yuyama, L. K., Pereira, Z. R., Aguiar, J. P., Silva Filho, D. F., Souza, R. F., & Teixeira, A. P., 2005. Estudo da influência do cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) sobre a concentração sérica de glicose. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 2(64), pp.232-36.

Yuyama, L.K.; Macedo, S.; Aguiar, J.; Filho, D.; Yuyama, K.; Favaro, D.; Vasconcellos, M., 2007. Quantificação de macro e micro nutrientes em algumas etnovariedades de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal). *Acta amazonica*, 37(3), pp.425-430.

Yuyama, L.K., Pantoja, L., Maeda, R.N., Aguiar, J.P., & Silva, S.B., 2008. Desenvolvimento e aceitabilidade de geléia dietética de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(4), 929-934.