

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Evaluación del mucílago de okra (*Abelmoschus esculentus L.*)
como agente espumante para el secado de pulpa de melón por el
método de espuma

Trabajo de graduación presentado por María de los Ángeles Citalán
Herrera para optar por el grado académico de Licenciada en
Ingeniería en Ciencias de Alimentos

Guatemala,

2022

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Evaluación del mucílago de okra (*Abelmoschus esculentus L.*)
como agente espumante para el secado de pulpa de melón por el
método de espuma

Trabajo de graduación presentado por María de los Ángeles Citalán
Herrera para optar por el grado académico de Licenciada en
Ingeniería en Ciencias de Alimentos

Guatemala,

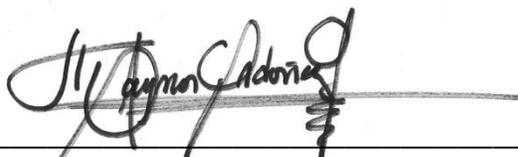
2022

Vo.Bo.



(MAI Maynor Alfredo Ordoñez Gutierrez)

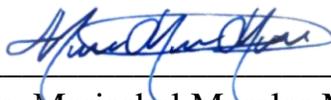
Tribunal examinador:



(MAI Maynor Alfredo Ordoñez Gutierrez)



(MSc. Ana Silvia Colmenares de Ruíz)



(MSc. Marisabel Morales Muralles)

Fecha de aprobación del examen de graduación

(Guatemala, 09 de noviembre de 2022)

Prefacio

Esta investigación es resultado de mi pasión por encontrar soluciones que ayuden al crecimiento económico de los guatemaltecos y reducir la contaminación del medio ambiente. No hubiera sido posible llegar a este punto sin el amor incondicional de Dios, mi amado Padre, que me salvó, me dio fuerzas, ánimo e inspiró todos los días a ser mejor y dar la milla extra. Dedico a Él este trabajo y lo que esta investigación representa para mí.

Le agradezco a la Ingeniera Fátima Canjura y a Alimentos Congelados S.A., quienes proveyeron de okra en el transcurso de la investigación, incluso durante la pandemia. Agradezco al asesor de este trabajo de graduación Maynor Ordoñez, sus consejos y puntos de vista ayudaron a definir el enfoque del estudio y a resolver inconvenientes. También agradezco a la secretaria general Eugenia Rosales, a la directora de la carrera Ana Silvia Colmenares, Iliana Vásquez y Edwinth Rodríguez, por el esfuerzo en el apoyo para lograr este sueño, por el soporte en las áreas de experimentación y enseñar con su ejemplo a como ser un profesional honesto, centrado y lleno de vida.

Agradezco a Dios por mis amados padres, agradezco su ejemplo de excelencia y esfuerzo diario en buscar que mis hermanos y yo, podamos cumplir nuestras metas y soñemos en grande. A mis hermanos, por motivarme a concluir con éxito esta meta a través de su sentido del humor, amor y paciencia. A mi familia, por apoyarme con sus palabras de motivación y compañía. A mi novio, a quien amo, admiro y agradezco por ayudarme en la carrera, planeación, elaboración y revisión de este estudio. Agradezco a cada uno de mis amigos, por inspirarme a lo largo de mi vida con su cariño, creatividad, determinación, honestidad y originalidad. Llevo a cada una de las personas aludidas en mi corazón.

Contenido

Prefacio	vii
Lista de cuadros	xi
Lista de figuras.....	xv
Resumen.....	xvii
Abstract.....	xviii
1. Introducción	1
2. Objetivos	3
3. Justificación	5
4. Antecedentes y marco teórico	7
4.1. Melón.....	7
4.2. Mucílago de okra.....	10
4.3. Deshidratación de frutas y verduras.	15
4.4. Teoría de la espuma	16
4.5. Secado por método de espuma.....	22
4.6. Polvo de Melón	28
5. Metodología	31
5.1 Materiales y reactivos	31
5.2 Selección de melón maduro	31
5.3 Extracción y evaluación de polvo de mucílago de okra	31
5.4 Elaboración de espuma de melón	32
5.5 Análisis de espuma	33
5.6 Experimentos de secado.....	33
5.7 Análisis fisicoquímicos	34
5.8 Análisis de propiedades de polvos	35
5.9 Diseño experimental de la evaluación de espumas.....	37
6. Discusión y resultados.....	39
6.1 Propiedades físicas de la okra y rendimiento del mucílago de okra.....	39
6.2 Características del polvo de mucílago de okra	40
6.3 Efecto del mucílago de okra en la sustitución de albúmina de huevo para elaboración de espuma.....	43

6.4	Propiedades físicas y bioquímicas del melón	45
6.5	Espuma de pulpa de melón	46
6.6	Secado de pulpa de melón	53
6.7	Efecto de la sustitución del agente espumante y temperatura de secado en las características del polvo de melón.	56
7.	Conclusiones	63
8.	Recomendaciones	64
9.	Bibliografía	65
10.	Anexos	77
10.1	Figuras ilustrativas	77
10.2	Cuadros de datos experimentales y análisis estadísticos	80
10.3	Cálculos complejos	106

Lista de cuadros

Cuadro 1. Composición nutricional del melón en una porción de 100 g.....	8
Cuadro 2. Análisis proximal de mucílago de okra (base seca)	11
Cuadro 3. Indicadores del índice de madurez de la okra	32
Cuadro 4. Relación de Hausner.....	36
Cuadro 5. Diseño experimental para la espuma a base de agua.....	37
Cuadro 6. Diseño experimental para la espuma de melón.	37
Cuadro 7. Características de la okra fresca	39
Cuadro 8. Propiedades de polvo y fisicoquímicas del mucílago de okra.....	40
Cuadro 9. Costo de producción del mucílago de okra	42
Cuadro 10. Densidad y expansión de la espuma base agua	43
Cuadro 11. Propiedades físicas del melón	45
Cuadro 12. Propiedades bioquímicas del melón fresco	46
Cuadro 13. Densidad, expansión y estabilidad de la espuma de melón.....	47
Cuadro 14. Análisis de variancia de la densidad de la espuma de melón	47
Cuadro 15. Análisis de variancia de la expansión de la espuma de melón	50
Cuadro 16. Tamaño de burbuja de la espuma de melón respecto al tiempo	52
Cuadro 17. Tiempo de secado según el agente espumante y temperatura de secado.....	53
Cuadro 18. Fotografías de la textura del polvo de melón	56
Cuadro 19. Propiedades fisicoquímicas del polvo de melón	57
Cuadro 20. Humedad del polvo de melón respecto a matriz y temperatura de secado.....	57
Cuadro 21. Densidad aparente, comprimida y fluidez del polvo de melón	58
Cuadro 22. Color del polvo de melón respecto a matriz y temperatura de secado	60
Cuadro 23. Propiedades de reconstitución del polvo de melón	61
Cuadro 24. Comparación de beneficios de los métodos de secado.....	80
Cuadro 25. Resultados de la determinación de madurez de la okra.....	81
Cuadro 26. Rendimiento del mucílago de okra por lote	82
Cuadro 27. Densidad de aparente del polvo de mucílago de okra	82
Cuadro 28. Densidad comprimida del polvo de mucílago de okra	83
Cuadro 29. Determinación de propiedades fisicoquímicas del polvo de mucílago de okra	83
Cuadro 30. Distribución másica del tamaño de partícula en el polvo de mucílago de okra	83
Cuadro 31. Costo de materia prima	84
Cuadro 32. Costo de producción de un kilogramo de polvo de mucílago de okra en términos de materia prima	84
Cuadro 33. Costo de producción de un kilogramo de polvo de mucílago de okra en términos de energía.....	85
Cuadro 34. Determinación de la densidad y expansión de la espuma base agua.....	85
Cuadro 35. ANOVA de la densidad de la espuma, base agua	86
Cuadro 36. Análisis de Tukey sobre el efecto del porcentaje de sustitución en la densidad de la espuma, base agua.....	86
Cuadro 37. ANOVA de la expansión de la espuma, base agua	87

Cuadro 38. Análisis de Tukey sobre el efecto del porcentaje de sustitución en la expansión de la espuma, base agua.....	87
Cuadro 39. Evaluación de la proporción de pulpa, semilla y cáscara por melón.....	88
Cuadro 40. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y tiempo de batido en la densidad, espuma de melón.....	88
Cuadro 41. Análisis de Tukey sobre efecto del porcentaje de sustitución y tiempo de batido en la densidad de la espuma de melón (efectos principales)	89
Cuadro 42. Análisis de Tukey sobre efecto de la interacción entre el porcentaje de sustitución y tiempo de batido en la densidad de la espuma de melón	90
Cuadro 43. Análisis de Tukey sobre efecto del porcentaje de sustitución y tiempo de batido en la expansión de la espuma de melón (efectos principales)	91
Cuadro 44. Efecto del tiempo de batido en la espuma de melón con únicamente albúmina de huevo.....	91
Cuadro 45. Densidad y expansión de espumas de melón para deshidratación	92
Cuadro 46. ANOVA de dos factores sobre el efecto del agente espumante y temperatura de secado en el tiempo de secado	92
Cuadro 47. Razón de secado y humedad en base seca respecto al tiempo para la espuma de melón EW/MO secada a 60°C	93
Cuadro 48. Razón de secado y humedad en base seca respecto al tiempo para la espuma de melón EW/MO secada a 70°C	94
Cuadro 49. Razón de secado y humedad en base seca respecto al tiempo para la espuma de melón EW secada a 60°C.....	95
Cuadro 50. Razón de secado y humedad en base seca respecto al tiempo para la espuma de melón EW secada a 70°C.....	96
Cuadro 51. Determinación de densidad de aparente y densidad comprimida	96
Cuadro 52. Distribución másica del tamaño de partícula en el polvo de melón EW/MO a 60°C ..	97
Cuadro 53. Distribución másica del tamaño de partícula en el polvo de melón EW/MO a 70°C ..	97
Cuadro 54. Distribución másica del tamaño de partícula en el polvo de melón EW a 60°C.....	97
Cuadro 55. Distribución másica del tamaño de partícula en el polvo de melón EW a 70°C.....	98
Cuadro 56. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en la solubilidad del polvo de melón	99
Cuadro 57. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en el tiempo de reconstitución del polvo de melón	99
Cuadro 58. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en el pH del polvo de melón.....	100
Cuadro 59. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en los sólidos solubles del polvo de melón	100
Cuadro 60. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en la acidez titulable del polvo de melón.....	101
Cuadro 61. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en la luminosidad (L*) del polvo de melón	101

Cuadro 62. Análisis de Tukey sobre la interacción del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en la luminosidad del polvo de melón.....	102
Cuadro 63. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado el valor a* del polvo de melón.....	102
Cuadro 64. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado el valor b* del polvo de melón.....	103
Cuadro 65. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en el matiz del polvo de melón.....	103
Cuadro 66. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en la saturación del polvo de melón	104
Cuadro 67. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en la densidad aparente del polvo de melón	104
Cuadro 68. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en la relación de Hausner del polvo de melón	105
Cuadro 69. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en la humedad del polvo de melón.	105

Lista de figuras

Figura 1. Melón <i>Curcumis melo L. var reticulatus</i> Naud	7
Figura 2. Representación de estructura química de un polisacárido del mucílago de okra.	11
Figura 3. Interacción de polisacáridos con la interfaz aceite/agua, aire/agua	13
Figura 4. Secado en condiciones de secado por lotes constantes.....	16
Figura 5. Curva típica de rapidez de secado en condiciones constantes.	16
Figura 6. (a) Borde de Plateau y película (b) Surfactantes en la interfaz.....	17
Figura 7. Transición de espuma estable a coalescencia.	19
Figura 8. Transferencia de masa a través de la espuma	23
Figura 9. Diagrama de flujo del método de secado por el método de espuma.....	25
Figura 10. Desarrollo del color del melón al madurar	31
Figura 11. Distribución másica del tamaño de partícula del polvo de mucílago de okra	41
Figura 12. Expansión y densidad promedio de la espuma respecto al porcentaje de sustitución de albúmina de huevo con mucílago de okra.....	44
Figura 13. Gráfico 3-D sobre el efecto del mucílago de okra y tiempo de batido en la densidad de la espuma de melón.....	49
Figura 14. Efecto del mucílago de okra y tiempo de batido en la densidad de la espuma de melón.....	49
Figura 15. Gráfico 3-D sobre el efecto del mucílago de okra y tiempo de batido en la expansión de la espuma de melón.....	51
Figura 16. Curvas de secado de pulpa de melón con diferentes agentes espumantes y temperaturas.	54
Figura 17. Curvas de razón de secado respecto al contenido de humedad de la espuma de melón con diferentes agentes espumantes y temperaturas.	55
Figura 18. Distribución másica del tamaño de partícula del polvo de melón respecto a matriz y temperatura de secado.....	59
Figura 19. Bebida de melón lista para consumir.....	77
Figura 20. Nesfruta, bebida saborizada con jugo de melón	77
Figura 21. Postre con polvo de melón como saborizante.....	78
Figura 22. Té de melón miel	78
Figura 23. Diagrama de flujo de la metodología.....	79

Resumen

Las pérdidas postcosecha de okra pueden ser aprovechadas utilizando el mucílago, un hidrocoloide cuya asistencia en la formación de espumas no ha sido estudiada a profundidad. El costo del polvo de melón, producido por el método de secado por espumas, se puede reducir al incluir agentes como el mucílago de okra descartada.

El objetivo general del estudio fue evaluar el mucílago de okra descartada como agente espumante en el desarrollo de polvo de melón. Se determinaron las características del mucílago, costo estimado de producción y capacidad para auxiliar espumas. Se aplicó en el desarrollo de polvo de melón secado por el método de espuma a diferentes temperaturas (60°C y 70°C). Se investigaron las propiedades espumantes (densidad, expansión y estabilidad) al sustituir la albúmina de huevo (5% p/v) en diferentes porcentajes (20 a 50%) y medios (agua y melón).

En la espuma a base de agua se determinó que la capacidad espumante mejora al incluir mucílago de okra. En la espuma de melón, sustituir un 30% del agente espumante por mucílago de okra y batir durante 8 minutos generó la menor densidad (0.236 g/mL), mayor expansión (265%) y buena estabilidad al reducir el drenado. La inclusión de mucílago de okra en la matriz no afectó significativamente en el tiempo de secado. Secar a 70°C disminuyó significativamente el tiempo de secado de aproximadamente 160 min (60°C) a 120 min (70°C).

Las propiedades del polvo de melón al aplicar mucílago de okra se conservaron en términos de características fisicoquímicas y solubilidad. Sin embargo, impactó negativamente en el tiempo de reconstitución y humedad. El aumento en la temperatura de secado incrementó significativamente la fluidez. Y la interacción de la temperatura con la inclusión de mucílago de okra disminuyó la luminosidad. El costo del mucílago es alto debido al uso de acetona, si se reutiliza como en el estudio sugerido, se hace económicamente factible. De esta forma es viable el uso de mucílago de okra como sustituto parcial de la albúmina de huevo en la elaboración de espumas a base de agua o melón. La recomendación más relevante fue evaluar si el porcentaje de sustitución es útil cuando se trabaja a concentraciones mayores o menores de albúmina de huevo.

Abstract

Postharvest losses (PHL) of okra are source mucilage, a hydrocolloid whose assistance in foamability has not been studied. The cost of cantaloupe powder, produced by foam drying method, can be reduced by incorporating agents such as discarded okra mucilage.

The general objective of the study was to evaluate discarded okra mucilage as a foaming agent on the development of cantaloupe powder. The mucilage properties, estimated production cost and capacity to aid foams were determined and applied in foam-mat dried cantaloupe powder dehydrated at different temperatures (60°C and 70°C). Foaming properties (density, expansion, and stability) were investigated by substituting egg albumin (5% w/v) in different percentages (20 to 50%) and fluids (water and melon).

In the water-based foam, it was determined that the foaming capacity improves by including okra mucilage. In melon foam, replacing 30% of the foaming agent with okra mucilage and beating for 8 minutes generated the lowest density (0.236 g / mL), highest expansion (265%), and good stability by reducing drainage. The inclusion of okra mucilage in the foam matrix did not significantly affect the drying time. Drying at 70°C decreased the drying time significantly from approximately 160 min (60°C) to 120 min (70°C).

The quality of cantaloupe powder when applying okra mucilage was preserved in terms of physicochemical characteristics and solubility. However, it had a negative impact on reconstitution time, color, and powder humidity. Increasing the drying temperature significantly increased flowability. And the interaction of temperature with the inclusion of okra mucilage decreased luminosity. The cost of okra mucilage is high due to acetone, if recycled, it becomes economically feasible. In this way, okra mucilage as a partial substitute of egg albumin in the production of foams based on water or cantaloupe is feasible. The most relevant recommendation was to evaluate whether the percentage of substitution is useful when working at higher or lower concentrations of egg albumin.

1. Introducción

El presente trabajo pretende evaluar las características del polvo de melón obtenido por el método de espuma a través de la sustitución parcial del agente espumante (albúmina de huevo) por mucílago de okra de descarte. De esta forma se pretende probar las propiedades espumantes del mucílago de okra y su efecto en el producto terminado.

La motivación fue proponer una forma de dar mejores usos a las pérdidas postcosecha de okra, para crear productos con valor. Así como la okra, existe una variedad de frutos y vegetales cuyas pérdidas postcosecha pueden utilizarse para contribuir en la economía local y disminución de gases de efecto invernadero.

Esta investigación busca inspirar en el estudio del mucílago de okra Clemson de descarte como agente auxiliar de espumas de frutas. Pues no hay estudios de su capacidad como agente auxiliar de espumas y su aplicación en alimentos es reducida.

Por ello en la primera sección del trabajo se describen las observaciones sobre el método de extracción y discusión de las características y estimación del costo de producción del polvo de mucílago de okra. A fin de evaluar si el mucílago pudiese ser utilizado como un ingrediente tecnológico a nivel industrial. En la segunda sección se describe la aplicación del mucílago de okra como agente auxiliar de espumas a base de agua y de melón para el desarrollo de polvo de melón. Se analizó y comparó respecto a una espuma control (albúmina de huevo, 5%) el efecto de añadir mucílago de okra en: las propiedades espumantes de la pulpa de melón (densidad, expansión y estabilidad), el tiempo y razón de secado y las propiedades del polvo de melón secado a diferentes temperaturas.

Se mostró que es viable sustituir la albúmina de huevo al 5% (p/v) por mucílago de okra en la espuma de melón en un máximo de 30% (p/v). Este porcentaje no afectó en el tiempo y razón de secado de forma significativa, por lo que no afectaría en la razón de producción. Sin embargo, aumentó el tiempo de reconstitución, el color se tornó ligeramente marrón y la humedad aumentó. El resto de las propiedades no fueron impactadas de forma importante, se deben considerar ambos aspectos al momento de incluir mucílago de okra en la producción de polvo de melón.

En términos de propiedades de polvos y costo del mucílago de okra, fluye de forma “pasable” y cuenta con una baja densidad aparente de 0.60g/mL. Por lo que a nivel industrial probablemente requerirá de una menor cantidad de accesorios para fluir. El costo puede reducir si se opta por la reutilización de acetona como se propuso en este trabajo. De esta forma es factible y beneficioso sustituir la albúmina de huevo por mucílago de okra en la producción de espumas a base de agua o melón.

2. Objetivos

2.1. General

Evaluar el mucílago de okra madura de rechazo como agente espumante en el método de secado con espuma para el desarrollo de polvo de Melón.

2.2. Específicos

- Evaluar el potencial del mucílago de okra como sustituto parcial de la albúmina de huevo en la elaboración de espuma de melón y espuma en base agua.
- Determinar el impacto en el proceso de secado de la espuma del melón al incluir mucílago de okra.
- Evaluar las características físicas del polvo de melón producido con albúmina de huevo y el sustituido parcialmente con mucílago de okra.

3. Justificación

El sector agrícola en Guatemala contribuye en un 13.5% al PIB y comprende un 44% de los productos exportados a Estados Unidos (Martínez y Venot, 2016; MINECO, 2018). Los principales cultivos de exportación son el banano, melón, plátano, sandía, papaya, piña, mango, entre otros. Dentro de los que resalta el melón, este es de gran importancia comercial. Guatemala es el principal proveedor de melón (*C.melo* var *L. reticulans Naud*) a Estados Unidos exportando \$147 millones en el 2017 (MINECO, 2018). En Estados Unidos esta variedad es de consumo intensivo debido a que posee mayor tamaño y es más aromático comparado a las otras variedades (Valencia, 2013). El melón fresco aporta compuestos que promueven la salud, entre ellos, vitamina A, vitamina C, potasio y ácido fólico (USDA, 2020; Ross y Restori, 2013). Este aporte de vitaminas es utilizado como publicidad para el consumo de melón.

En el proceso de exportación una variedad de costos logísticos debe tomarse en cuenta incluyendo: documentación, transporte interno, almacenaje temporal, aduanas, flete marítimo, entre otros. El flete marítimo depende del peso o volumen del producto a exportar (Gutiérrez, 2017). Uno de los factores que afecta principalmente el costo de exportación a Estados Unidos, es el reducido tamaño de los buques que es sinónimo de una reducida disponibilidad de volumen (Lugo, 2017). Se registran pérdidas importantes de melón en el Puerto de Sto. Tomas de Castilla a la espera de aprobación de documentos, así como pérdidas en peso de otros productos agrícolas por percances en el sistema SAT (Martínez y Venot, 2018).

El melón, así como la mayoría de las frutas y verduras, es un alimento perecedero. El tiempo de vida del melón sin cambios organolépticos es de 14 días a temperaturas de 2.2 °C – 5°C (Suslow, *et al.*, 2002). Por lo que necesita de costosos contenedores con sistema de refrigeración para su exportación. Es por ello que el polvo de frutas, incluyendo el de melón, es una forma alternativa para reducir el costo de transporte, uso de contenedores de menor costo, aportando una mayor vida útil al producto y preservando las características de calidad.

De las formas principales de consumo de frutas en casa es en bebidas (PBHF, 2015). La industria de bebidas frutales está valuada en \$90 Billones para el 2025 a nivel global, con un crecimiento anual esperado de 3.7% de crecimiento anual compuesto (CAGR) del 2019 a 2023 (PBHF, 2015). Este segmento incluye las bebidas frutales en polvos, donde el melón puede competir en este mercado (APEDA, 2019). Además, podría participar también del creciente mercado de alimentos funcionales, pues se prevé dependerá de la fortificación de alimentos y bebidas con suplementos nutricionales, como el polvo de melón (GVR, 2019). Lo que hace del polvo de melón un ingrediente con oportunidades participar beneficiosamente en el mercado actual a nivel global como saborizante y suplemento nutricional en la industria de bebidas y alimentos.

Existen varios métodos para la producción de polvos frutales, entre ellos liofilización, secado por aspersión y equipos con microondas. Sin embargo, ninguno de los anteriores es factible para industrias con presupuestos ajustados y requieren de alta experiencia para su implementación. El secado por el método de espuma es una tecnología prometedora para la pulverización de productos sensibles como el melón, ofreciendo los beneficios de tecnologías de cuarta generación como

rapidez y uniformidad de secado, productos de mejor calidad y estables en el almacenamiento. Las ventajas económicas del método comparado a los anteriores radican en los tiempos y temperaturas reducidas de secado. Asimismo, la simplicidad de su aplicación por equipos de secado de primera generación como el secador de bandejas.

Este método depende de la estabilidad de la espuma y diferentes resultados en las propiedades de polvos se han encontrado con el uso de distintos agentes espumantes (Hardy y Jideani, 2015). En la literatura los agentes espumantes utilizados provienen de fuentes costosas debido a los procesos necesarios para su obtención. Como la albúmina de huevo en polvo, concentrado de proteína sérica, aislado de proteína de soya, entre otros (Sangamithra, *et al.*, 2014). El precio por kg de albúmina de huevo es de Q90.35 por kilogramo (USDA, 2021). Por ello se han investigado alternativas económicas a los agentes espumantes. La okra, un fruto multifuncional proveniente de Etiopia posee mucílago en su contenido con buenas propiedades de adsorción a la superficie. Por lo que es utilizado como emulsificante y se ha probado tiene propiedades espumantes (Aziah, *et al.*, 2015; Fekadu, *et al.*, 2018). En Guatemala la okra es cultivada con fines de exportación, pues el mercado guatemalteco no consume este fruto. A pesar de no ser consumida, como la mayoría de las cadenas de suministro de vegetales, presenta pérdidas postcosecha. No hay literatura que cuantifique tales datos, sin embargo, se registra que la pérdida postcosecha de okra tiende a ser del 23.5% en África Subsahariana. Generalmente porque al alcanzar su madurez se torna en un fruto fibroso e incomedible, una pérdida de calidad común (Affognon, *et al.*, 2015). De forma favorable es en esta etapa de madurez que el fruto llega a poseer un mayor rendimiento de mucílago y menor viscosidad, propiedades que benefician en la formación de espumas (Aziah, *et al.*, 2014; Jacob, *et al.*, 2020).

El estudio de la propiedad espumante de la okra es una alternativa prometedora para su aplicación en el secado por el método por espumas para la producción de polvos frutales, como el melón. Utilizar esta pérdida representa una oportunidad de hacer el método de secado más económico, factible para la aplicación en industrias pequeñas y medianas, y posiblemente mejorar las propiedades del producto. Desarrollar polvo de melón es adecuado para la reducción de costos de exportación y es una oportunidad para competir en los mercados más codiciados de la industria de alimentos por medio del desarrollo del suplemento nutricional y jugos frutales.

4. Antecedentes y marco teórico

4.1. Melón

4.1.1. Generalidades del melón

El melón (*Curcumis melo* L. var *reticulatus* Naud) es parte de la familia *Curcubitaceae*. Este fruto con forma esférica es de cáscara verde, textura dura y suturada, con pulpa de tonalidad salmón o ligeramente naranja y sabor dulce. El clima cálido con temperaturas entre 30 – 35°C es el adecuado para el crecimiento de este fruto. El melón (*Cucumis melo*) es una de las principales frutas consumidas en el mundo debido a su sabor y valor nutricional. El sabor está relacionado con el contenido de sólidos solubles. Sin embargo, no es el único parámetro que define el perfil de un producto de buena calidad. Un perfil adecuado de aromáticos está relacionado con la etapa en la que se cosecha. Alcanza su madurez fisiológica cuando la zona de abscisión se desarrolla y el tallo es removido aplicando leve presión. Otros indicadores de madurez son el cambio de color de gris a verde claro en la cáscara y el desarrollo de textura análoga a redes (Perkins, Beaulieu y Siddiq, 2012; Suslow, *et al.*, 2002)

El melón es un fruto climatérico, días después de la cosecha alcanza la madurez comercial donde el producto posee las características deseadas por el mercado e inicia el proceso de senescencia del fruto. Se dice que es fruto perecedero pues aún en estas condiciones, mantiene su calidad por 12 – 15 días. Menores temperaturas pueden alargar el tiempo de vida a 21 días, pero provoca daños por frío y cambio en las propiedades sensoriales. Las pérdidas postcosecha del Melón son generalmente fúngicas o por maduración (Perkins, Beaulieu y Siddiq, 2012; Suslow, *et al.*, 2002).

Figura 1. Melón *Curcumis melo* L. var *reticulatus* Naud



4.1.2. Producción de melón

A nivel mundial su valor de producción bruto fue más de \$13 billones en el 2016 (FAO,2020). Los diez principales productores de Melón en el 2018 fueron China, Turquía, Irán India, Kazakstán, Estados Unidos, Egipto, España, Guatemala e Italia (FAO, 2020). La única variedad que Guatemala comercializa al extranjero es el melón *Curcumis melo* L. var *reticulatus* Naud (véase Figura No.1). La producción de melón ha incrementado en un 22% del 2011 al 2016, de 11,258,100 a 13,750,800 quintales de producción anual. Los departamentos de mayor producción nacional son Zacapa (85%), Santa Rosa (7%) y Jutiapa (6%). Guatemala ha logrado mantenerse como el principal exportador de melón a los Estados Unidos, el valor de la exportación aumentó de \$117.4 a \$159.6 millones del 2013 a 2016. En el año 2013 estas exportaciones representaron un 0.25% del producto interno bruto. Esto hace del melón un fruto de gran importancia económica y fuente de generación de cerca de cuatro millones empleos en el año 2010 equivalente a 14,000 empleos fijos. (MAGA, 2016; MINECO,2018; Ismail, *et al.*, 2010, MAGA, 2011)

4.1.3. Composición nutricional

El melón es un producto bastante aceptado por su contenido de azúcares, perfil aromático y color llamativo. Consiste en 90.20% agua, 8.69% carbohidratos, que incluye azúcares y fibra, el resto corresponde a proteínas, grasas y cenizas (véase Cuadro No.1). Posee un alto contenido de vitamina A, vitamina C y aporta minerales como potasio, fósforo y magnesio (USDA, 2019).

Cuadro 1. Composición nutricional del melón en una porción de 100 g.

Nutriente	Promedio	Unidad
Agua	90.2	g
Energía	141	kJ
Proteína	0.82	g
Grasas totales	0.18	g
Cenizas	0.63	g
Carbohidratos totales	8.69	g
Fibra soluble	0.3	g
Fibra insoluble	0.8	g
Azúcares totales	7.88	g
Sacarosa	3.32	g
Glucosa	2.08	g
Fructosa	2.4	g
Maltosa	0.02	g
Galactosa	0.06	g
Almidón	0.02	g
Minerales		
Calcio	9	mg
Hierro	0.38	mg
Magnesio	13	mg
Fósforo	17	mg
Potasio	157	mg
Sodio	30	mg
Zinc	0.44	mg
Cobre	0.085	mg
Manganeso	0.046	mg
Selenio	1.7	µg
Vitaminas		
Vitamina C	10.9	mg
Tiamina	0.049	mg

Continuación del Cuadro No. 1

Nutriente	Promedio	Unidad
Riboflavina	0.027	mg
Niacina	0.694	mg
Ácido Pantoténico	0.085	mg
Vitamina B6	0.04	mg
Folatos totales	14	µg
Vitamina A (RAE)	232	µg
β-caroteno	2780	µg
Luteína + zeaxantina	32	µg
Vitamina K (filoquinona)	2.7	µg

Fuente: USDA (2019)

4.1.4. Beneficios nutricionales y funcionales

El contenido de vitamina A en 100 g de melón es de 232 µg equivalentes de retinol (RE o RAE) (USDA, 2019). El valor diario recomendado de vitamina A para hombres es de 600 µg RE, para mujeres se recomienda 500 RE (WHO/FAO, 2004). Por lo que tan solo 100 g de melón fresco cubren 38.7% y 46.4% del requerimiento de valor diario para hombres y mujeres respectivamente. La baja ingesta de vitamina A está asociada con la incidencia y severidad de enfermedades infecciosas. Los retinoides promueven reacciones antiinflamatorias, favoreciendo la producción de citoquinas. Las citoquinas son péptidos cuya función en el sistema inmune es enviar señales que estimulan las células del sistema, fomentando la producción de anticuerpos, actividad de macrófagos y otros (Ross y Restori, 2013).

Cumplir con el requerimiento diario de vitamina A es una forma adecuada de promover la salud. La CRP se utiliza como índice de reacciones inflamatorias en el cuerpo. Disminuir el consumo de β-caroteno, resulta en el incremento en 2 mg/L de la CRP. Esto sugiere que los carotenos tienen un efecto antiinflamatorio en el sistema (Ross y Restori, 2013). El melón también es fuente de vitamina C, provee 10.9 mg/100 g de melón, el requerimiento diario para adultos es de 45 mg/día (FAO/WHO, 2004; USDA, 2019). El contenido de vitamina C aunado a los betacarotenos, provee la habilidad de desactivar compuestos químicos dañinos a la salud como radicales libres incluyendo radicales de peróxidos lipídicos (Marietti, *et al.*, 2012).

La pulpa de melón posee polifenoles y flavonoides, los polifenoles son caracterizados por poseer uno o varios grupos fenólicos capaces de reducir compuestos reactivos. Estas propiedades son atractivas para la prevención de enfermedades crónicas relacionadas con el estrés oxidativo (Pérez-Jiménez, 2010).

Con respecto al buen contenido de potasio, tiene la capacidad de ayudar en el control de la presión arterial, salud ósea y prevenir desórdenes cardiovasculares como paros cardíacos o enfermedades del corazón. Su recomendación diaria para adultos es de 3510 mg/día (WHO, 2012). La forma natural de incrementar los niveles de potasio es por medio de elegir los alimentos correctos.

En conclusión, el melón puede utilizarse como alimento o ingrediente funcional, debido a las propiedades que van más allá de la nutrición, promoviendo la salud de los consumidores. Lo que podría hacer que el polvo de melón participase en la tendencia de alimentos funcionales, cuyo mercado es en el 2018 se estimó de 161.49 billones a nivel global. En este mercado se anticipa un crecimiento de 7.9% del CAGR, aumentando la demanda de alimentos y bebidas funcionales cuyo crecimiento se prevé dependerá de la fortificación de alimentos y bebidas con suplementos nutricionales (GVR, 2019).

4.2. Mucílago de okra

4.2.1. Generalidades de la okra

El fruto denominado okra *Abelmoschus esculentus* L. Moench, proviene de una planta nativa de Etiopía, propagada en el norte de África, en el Mediterráneo, Arabia e India. Es un cultivo adecuado para su producción en grandes granjas hasta jardines (Fekadu, *et al.*, 2015). Las plantas de okra son crecidas comercialmente en diferentes países como India, Japón, Turquía, Irán, Oeste del África, Tailandia, Brasil, Sur de Estados Unidos y Guatemala (Qhureshi, 2007). Es de gran importancia comercial, cultivada en áreas tropicales y subtropicales del mundo, con un valor bruto de producción de más de 7 billones en el año 2016 (FAO, 2020). La okra es fruto multifuncional debido a las diversas aplicaciones que se le puede dar a las hojas, flores, cáscara, tallo, semillas y mucílago.

La cáscara y semillas de okra son reconocidas por ser fuente de fibra dietética, ácidos grasos, minerales, vitaminas y cuenta con 20 – 40% proteína, cuyos aminoácidos dan un balance dietas basadas en cereales deficientes en lisina y triptófano (Adelakun, *et al.*, 2012; Fekadu *et al.*, 2015). Es reconocida en ayudar a aliviar la desnutrición en los países que la consumen. Las semillas se han utilizado para la producción de aceite, como sustituto de café y confitería. La okra posee una textura viscosa apreciada en platillos de África, se atribuye al contenido de mucílago. (Fekadu, *et al.*, 2015)

Es tradicionalmente ingerida cuando el producto no está maduro, por lo que posee un corto tiempo de vida útil de 8 a 10 días a condiciones ideales de 2 – 13°C y 90% humedad relativa (Tekpor, 2011). Pasado este tiempo el producto inicia un proceso de lignificación, proceso bioquímico donde los carbohidratos solubles e insolubles del fruto se tornan en lignina que se deposita en las paredes celulares de la celulosa. Esto resulta en frutos de menor calidad, rígidos, incomedibles, resistentes al corte e impermeables al agua y gases (Ubi, *et al.*, 2016). En consecuencia, esta es una de las principales razones de pérdidas postcosecha. Otras razones descritas en la literatura son por daños mecánicos y contaminación microbiana (Tekpor, 2011). El porcentaje de pérdida máximo de okra en Africa Sub-Sahariana es del 23.5% (Affognon, *et al.*, 2015).

La mayoría de las propiedades nutricionales del fruto de la okra y funcionales del mucílago de okra siguen presentes aún en altos grados de madurez. Beneficiarse de este producto, con los tratamientos adecuados, aportaría una buena fuente de ingredientes funcionales.

4.2.2. Composición del mucílago de okra

Los mucílagos se encuentran en diferentes especies de plantas y algunos microorganismos, consiste en polisacáridos solubles en agua con textura viscosa. Algunas plantas de la familia Malvaceae como el cacao (*Theobroma cacao*), rosella (*Hibiscus sabdariffa*), baobab (*Adansonia digitata* L.) y okra (*Abelmoschus* spp L.) contienen mucílago en su estructura. Su función en la okra es facilitar el almacenamiento de agua, ser espesante de la membrana, reserva alimento y ayuda en la dispersión de las semillas (Ahiakpa, *et al.*, 2014).

El mucílago de okra se encuentra concentrado en las paredes de la cáscara de okra, consiste en polisacáridos acidificados asociados con proteínas (Fekadu, *et al.*, 2015). Contiene también aminoácidos libres, minerales, flavonoides, taninos y fitoesteroles (Kumar, 2014). Los principales componentes del polisacárido del mucílago de okra son galactosa (49.4%), ramnosa (19.6%), ácido galacturónico (16.8%), arabinosa (7.5%) y xilosa (6.8%), en menor porcentaje posee aminoácidos,

glucosa y ácido glucurónico (Fekadu, et al, 2015; Kontogiorgios, *et al.*, 2012; Li, *et al.*, 2020). Estos azúcares se encuentran entrelazados aleatoriamente formando polisacáridos como se observa en la Figura No.2. En el Cuadro No.2 se describe con mayor detalle el porcentaje de compuestos orgánicos en el mucílago de okra:

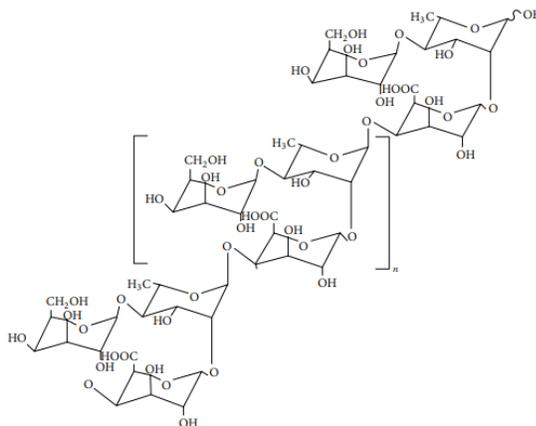
Cuadro 2. Análisis proximal de mucílago de okra (base seca)

Parámetro	Valor
Humedad	10.00%
Cenizas	2.69%
Proteína	0.38%
Carbohidratos	78.00%
Grasas (aceite)	7.00%
Fibra	1.89%
Calcio	77.9 mg/g
Magnesio	1.62 mg/g
Fósforo	3.26 mg/g
Potasio	0.019 mg/g

Fuente: Ani, *et al.* (2012)

Los principales elementos estructurales de los polisacáridos de okra son las unidades alternantes α - 1,2-ramnosil y α -1,4- ácido galacturónico residual con una cadena lateral de disacáridos de β -1,4-galactosil unidos a la mitad de los residuos de L-ramnosil. Los principales polisacáridos de los mucílago de okra son tipo 1 o ramnogalacturonanos – I (RGs-I), parcialmente metilados y/o ramnogalaturonanos acetilados, con pequeños residuos de cadenas de galactosil. (Sengkhamparn, *et al.*, 2009). Los RGs-I son uno de los tipos de sustancias pécticas encontrados en la naturaleza, se podría decir son únicas para cada planta y tejido de la misma planta y en algunos casos, también dependen del estado de madurez del mismo tejido (Yapo, 2011). Atribuido al amplio rango de combinaciones, de sus cadenas laterales variando en longitud y estructura; (Buffetto, *et al.*, 2015). Con respecto a compuestos tóxicos y toxicidad del mucílago de okra, no se han determinado manifestaciones tóxicas en el mucílago de okra por lo que es seguro utilizarlo (Kumar, 2014).

Figura 2. Representación de estructura química de un polisacárido del mucílago de okra.



Fuente: Zaharuddin, *et al.* (2014)

4.2.3. Características fisicoquímicas

El mucílago de okra es soluble en agua, pero insoluble en acetona, etanol y cloroformo. Por lo que estos son buenos agentes precipitantes, la acetona principalmente debido a su volatilidad. El polvo de mucílago de okra se hidrata adecuadamente en agua, formando una dispersión viscosa. La máxima solubilidad del mucílago de okra se obtiene en un pH de 7.4, sugiriendo mayor despliegue de las cadenas a pH neutral donde también presenta mayor viscosidad (Yuan, Ritzoulis y Chen, 2018; Zaharuddin, Ibrahim, Kandivar, 2014).

La viscosidad también aumenta a medida que incrementa la concentración de mucílago de okra (Xu, Guo y Du, 2017). Con la concentración son más prominentes los entrelazamientos de alta densidad y/o agregación de cadenas intermoleculares que influyen en las propiedades de flujo de la okra (Kotongiorgos, *et al.*, 2012). Esta propiedad depende también del método de extracción, a pH de 6 y extracción en medio alcalino se presenta el comportamiento mencionado (Kotongiorgos, *et al.*, 2012).

La viscosidad disminuye con la temperatura, posiblemente por cambios en la conformación de los polímeros (Aziah *et al.*, 2014). La viscosidad disminuyó de 851 a 401 mPa.s al incrementar la temperatura de 10°C a 70°C en el mucílago extraído de okra con el menor grado de madurez (índice 1). A mayores grados de madurez, la viscosidad disminuye naturalmente. El calor provoca que disminuya aún más la viscosidad, de 521 a 141 y 208 a 44 mPa.s en las temperaturas de 10 y 70°C para el índice 2 y 3 respectivamente.

La temperatura de transición vítrea del mucílago de okra es de 60°C, el punto de fusión es de 180°C (Zaharuddin, Ibrahim, Kandivar, 2014). La temperatura de transición vítrea se refiere a la transición de un estado termodinámico metaestable a un estado gomoso, esta se observa en la estructura amorfa y semicristalina del mucílago (Gutiérrez, *et al.*, 2014). En esta temperatura existe mayor movilidad de las moléculas y menor estabilidad de los compuestos del mucílago de okra. Por ello se recomienda almacenar y realizar los análisis de las propiedades del mucílago a temperaturas menores de 60°C. Esto es una desventaja en el secado, indica que es necesario utilizar un aditivo para que no pierda estabilidad a temperaturas superiores de 60°C.

A una temperatura de 120°C se da la evaporación de la humedad ligada en el mucílago de okra, la temperatura de evaporación es mayor a la temperatura del agua pues se requiere más energía para romper los enlaces iónicos entre el agua y el polisacárido (Zaharuddin, Ibrahim, Kandivar, 2014). Temenouga, *et al.* (2016) describe los efectos de la exposición excesiva al calor. Durante 6 horas el mucílago de okra se expuso a 100°C, reacciones de Maillard provocaron la desintegración de los polisacáridos para generar conjugados con las proteínas.

4.2.4. Propiedades de superficie.

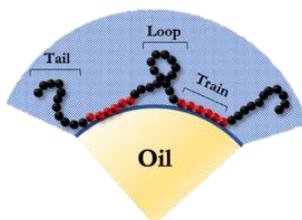
En el caso de la pectina, se ha demostrado que estos compuestos con altos o bajos grupos metoxilos cuentan con una amplia actividad de superficie y son capaces de estabilizar emulsiones aceite / agua. Las pectinas de la okra son más ácidas cuya combinación de polisacáridos presenta una viscosidad pseudoplástica. La actividad superficial de la okra puede aumentar debido a la contribución de estructuras funcionales en la molécula de pectina como el acetyl, metilo y restos de ácido ferúlico, que pueden promover un carácter hidrofóbico (Leroux, *et al.*, 2003; Alba, *et al.*, 2013). Las fracciones de pectina en combinación con niveles de proteína altos son más efectivos en separar las emulsiones en gotas más pequeñas durante la homogeneización debido a la capacidad de anclaje de las proteínas a la fase de aceite (Kotongiorgos, 2019).

El mucílago de okra cuenta con mecanismos de alternación de azúcares residuales (Sengkhampan, *et al.*, 2009). Los polímeros con esta característica tienen un mecanismo de adsorción a la interfaz (tanto para aceite/agua o aire/agua) que consiste en circuitos que interactúan a diferentes grados con la capa interfacial (véase Figura No.3). Estos circuitos (loops, colas y vagones) consisten en diversas secciones con diferente afinidad a la interfaz. Los “loops” o lazos que son áreas localizadas entre dos puntos de contacto con la interfaz, las colas que son las secciones entre el punto más cercano a la superficie y la sección final de las cadenas. También hay vagones cuyas secciones son fuertemente adsorbidas a la interfaz, llevan en su estructura la mayoría de los grupos hidrofóbicos (Kontogiorgos, 2019).

Hablando de la estabilidad de emulsión, al exponer a un tratamiento térmico a 80°C por 30 min, la okra de menor índice de madurez mostró la mayor estabilidad de emulsión debido a la poca cinética de desestabilización. Esta cinética se presenta en frutos de mayor índice de madurez, donde disminuye la estabilidad de emulsificación luego de calentar. Con respecto a la capacidad emulsificante, esta aumenta conforme el índice de madurez (Aziah, *et al.*, 2014).

El mucílago de okra tiene el potencial de ser utilizado como espumante debido a las propiedades hidrofóbicas de los polisacáridos, la alta capacidad emulsificante y la baja viscosidad en productos maduros. Sin embargo, la literatura en este tema es escasa. Un estudio determinó en ocho muestras de distintos frutos de okra la capacidad y estabilidad espumante del mucílago utilizando 2% de mucílago batido por 30 minutos. La capacidad espumante o aumento de volumen por formación de espuma en promedio fue de 55.74%. La estabilidad de espuma en promedio fue de 45.57%, es decir que más de la mitad de su volumen se perdió en 8 horas bajo ningún estímulo (Fekadu, *et al.*, 2018).

Figura 3. Interacción de polisacáridos con la interfaz aceite/agua, aire/agua



Fuente: Kotogiorgios (2019).

4.2.5.Efecto de factores externos en el rendimiento y propiedades fisicoquímicas

La variación en el rendimiento del mucílago en la okra puede explicarse por el método de extracción, variedad, etapa de maduración y condiciones ambientales (Assi, *et al.*, 2017). La variedad Louisiana Velvet Verde produce el mayor contenido de mucílago, seguido por la variedad Esmeralda y Clemson (Sahasi, 1975). Hay mayor rendimiento de mucílago al utilizar frutos con crecimiento erguido, provenientes de una planta con alta producción (Ahiakpa, *et al.*, 2014).

Con respecto al efecto del estado de madurez en el rendimiento, en las primeras etapas de madurez (5 a 15 días) se obtiene el mayor porcentaje de mucílago, que va de 12.5% (día 5) a 20.7% (día 15). Luego el rendimiento disminuye a 8.7% en el día 18 a 19 (Jacob, *et al.*, 2020). Se puede decir que el mucílago incrementa con el grado de madurez. Pues contribuye en balancear el contenido de agua en la fruta. Sin embargo, en la senescencia el contenido de mucílago disminuye

en altos grados de madurez (Aziah, *et al.*,2014). El efecto del método de extracción se describirá en la sección siguiente.

Parte de la viscosidad depende del contenido de acetilación de los residuos ramnosil y sus subsecuentes interacciones macromoleculares (Sengkhampan, *et al.*, 2009). Además, tales propiedades fisicoquímicas también se ven afectadas por la concentración del mucílago, la temperatura, pH, contenido de carbohidratos, etapa de maduración, sales y tiempo de almacenamiento (Fekadu, *et al.*, 2015; Kontogiorgos, *et al.*, 2012). Una concentración menor al 1% p/p de extraído por un método caliente y acuoso muestra tener un flujo newtoniano. A medida que incrementa la concentración, el flujo se muestra pseudoplástico. Se atribuye al contenido de pectina y el peso molecular de los compuestos en solución (Kontogiorgos, *et al.*, 2012). La temperatura modifica la estructura de los polisacáridos en cualquier etapa de maduración, disminuyendo la viscosidad y estabilidad de emulsión. El estado de madurez afecta en las propiedades de viscosidad, disminuyendo con el aumento en el grado de madurez (Aziah, *et al.*, 2014).

Extracción del mucílago de okra

Una hipótesis sobre la formación de mucílago, indica que el proceso inicia con la hidratación de las macromoléculas en el pericarpio del okra. El sólido se hincha y se transporta de la matriz sólida a la fase acuosa, aumentando la concentración de macromoléculas. El mucílago se torna en un hidrocoloide viscoso, momento en el que las macromoléculas se relajan o son adsorbidas en la interfaz aceitosa (Ritzoulis, 2017).

Cada método de extracción resulta en distintos rendimientos y composiciones del mucílago extraído, que afecta en las propiedades estructurales. No son las partículas oligoméricas o micro moleculares las que tienen mayor impacto en la reología, sino las moléculas de mayor peso molecular. A continuación, se presentan varios métodos:

- Extracción utilizando acetona. De este método se puede extraer más mucílago, sin embargo, tiene un amplio rango de variabilidad. En este método los polisacáridos restantes son solubles en agua, los polisacáridos insolubles en acetona son los manejados. El rendimiento de extracción es del 8.6% si se deja reposar en agua por 15 min (Archana, *et al.*, 2013). Es posible obtener 31.52% de rendimiento con el método (Nagpal *et al.*, 2017). Las diferencias radican en el tratamiento de la materia prima, formó un puré con 2% ácido acético glacial y okra. Su extracción fue asistida por poder ultrasónico a 65 W durante 45 minutos a 65°C. El mucílago de okra extraído con estos métodos se puede aplicar a alimentos por la volatilidad de la acetona, y presenta propiedades de emulsificación de 42.22 – 74.45% y capacidad espumante de 50.51 a 62.50% (Fekadu, *et al.*,2015; Aziah, 2014).
- Extracción con sustancias acuosas y precipitación con etanol. La extracción en frío de la okra, seguido de purificación por medio de disoluciones, precipitaciones y liofilización resultó en un rendimiento de 0.17%. Con un contenido de proteína de entre 10.8 – 11%, que está relacionado con el contenido de glicoproteínas. Una pequeña alteración en el método ocasionó cambio estructural en las cadenas de los polisacáridos, sugiriendo la sensibilidad de las moléculas frente a distintos métodos de extracción (Ritzoulis,2017).
- Extracción con ácido y precipitación con alcohol. El rendimiento aumenta a 10%, pero se obtiene un porcentaje de proteína en su constitución de 1.6%. Un menor porcentaje de proteínas afecta la formación de los complejos proteína-polisacárido (Ritzoulis,2017).

- Extracción con etanol y solución acuosa. Resulta en la obtención de sólidos insolubles en alcohol (AIS) y la remoción de los sólidos solubles en alcohol que tienden a ser solubles en agua. El rendimiento tiende a ser menor al 10% con un contenido de 15.2% a 6.7% proteína (Ritzoulis,2017; Kotogiorgos, *et al.*, 2012). Incrementando la posibilidad de obtener polisacáridos purificados, principalmente ramnogalaturanos tipo 1 (Senghamparn, *et al.*, 2009). La aplicación de otras soluciones acuosas permite la extracción de otros polisacáridos, aplicar EDTA extrae soluciones compuestas por un 70% homogalactoranos y 30% ramnolacturonanos (Ritzoulis,2017).

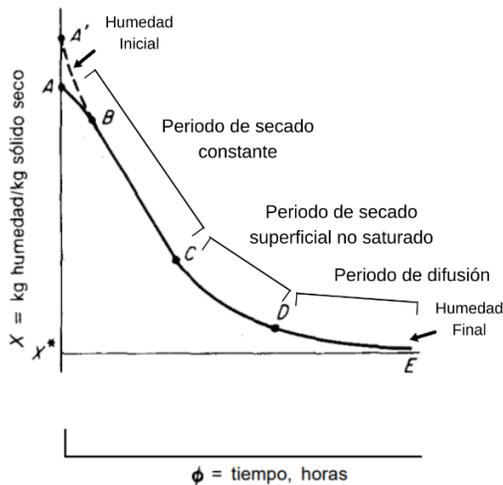
4.3. Deshidratación de frutas y verduras.

El proceso de deshidratación es una operación para la remoción de agua u otro solvente de un sólido, semisólido o líquido. El secado generalmente trabaja con transferencia de calor y masa simultáneamente para la evaporación del agua libre y ligada los alimentos. El medio externo, que tiende a ser aire caliente, pasa en contracorriente o corriente paralela sobre el área superficial del alimento transfiriendo calor. Simultáneamente la humedad por difusión pasa a la superficie debido al gradiente de presión de vapor en la superficie y el interior del producto. La humedad superficial es continuamente evaporada por el aire caliente. La forma de transferencia de calor puede ser por conducción, convección o radiación. La convección es la forma de transferencia calor dominante, se da en métodos que utilizan aire o líquidos como medios de transferencia. La conducción se da dentro del alimento denso (Doyle y Buchanan, 2013)

En alimentos de alta humedad secados por capas delgadas o camas de capas delgadas, hay cuatro periodos de secado: (1) Periodo transitorio inicial. (2) Periodo de secado con razón constante (3) Periodo transitorio (4) Periodo de secado superficial no saturado. Durante el periodo de secado a rapidez constante, la principal forma de difusión es superficial y el agua libre es evaporada. En el periodo transitorio secciones secas empiezan a aparecer, el agua es transferida por capilaridad de las capas internas del alimento a la superficie. En el periodo de secado superficial no saturado, la remoción de humedad se limita a la razón de difusión del agua desde el interior del alimento (Varzakas y Tzia, 2015; Driscoll, 2014)

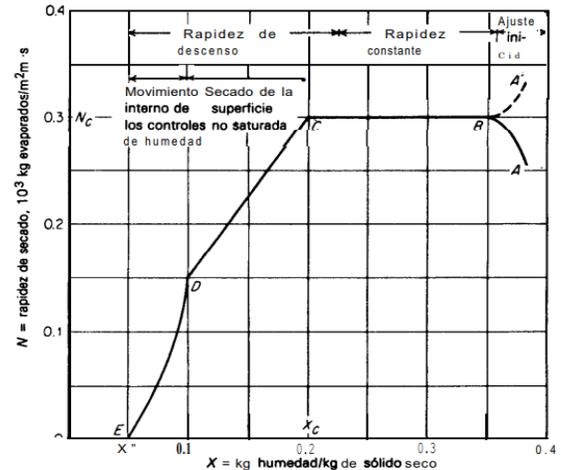
El secado es una de las operaciones unitarias que requiere mayor intensidad energética. En caso de la evaporación utilizando una corriente gaseosa directa como el secado por lotes que se utilizará en este estudio, hay dos factores que lo ocasionan. El primer factor es el alto consumo de energía que requiere cambiar de fase el agua. Así como la baja eficiencia de transferencia de calor durante el periodo de secado superficial no saturado (Figura No.4). En esta etapa el secado es ineficiente, las moléculas de agua ligada tienen una mayor entalpía de evaporación por ende requieren más energía. El segundo factor, es el gradiente de temperatura en el alimento influenciado por el grosor de capa, puede afectar en la transferencia de calor provocando una transferencia de masa más lenta (Feng, Yin y Tang, 2012). Ambos factores provocan que la rapidez de secado disminuya como se observa en la Figura No.5. El producto final en este periodo tiende a sufrir oxidación y otras reacciones de deterioro por el aire caliente.

Figura 4. Secado en condiciones de secado por lotes constantes



Fuente: Treybal (2007)

Figura 5. Curva típica de rapidez de secado en condiciones constantes.



Fuente: Treybal (2007)

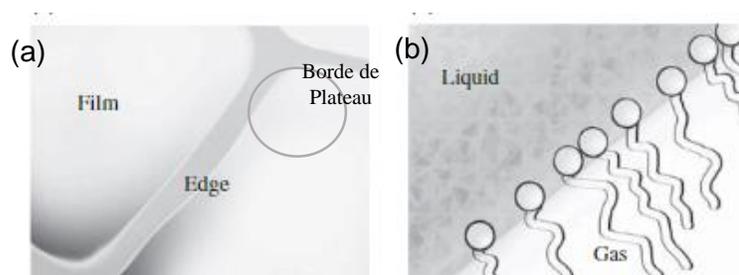
Este proceso tiene un efecto significativo en la calidad del producto, contribuye en la preservación, reducción de peso y en la mejora de propiedades tecnológicas de los alimentos (Michailidis y Krokida, *et al.*, 2015). La actividad de agua es reducida de manera significativa, creando un ambiente inadecuado para contaminación microbiana y detiene los procesos biológicos de la materia (Oliveira, Brandão y Silva, 2016). Beneficioso para aumentar la vida útil de materias perecedoras y con diferentes estacionalidades como las frutas y verduras. Es un método adecuado para la reducción de pérdidas postcosecha, reducción de costos de transporte, manejo y empaque debido al menor de peso y volumen (Hardy y Jideani, 2015).

La deshidratación de alimentos también puede mejorar o perder las características sensoriales, nutricionales y propiedades biológicas de la materia (Figiel, Michalska, 2017). Algunas propiedades de las frutas y verduras son sus antioxidantes, pigmentos, vitaminas y minerales. Pueden deteriorarse durante la deshidratación por reacciones oxidativas y enzimáticas debido a la baja actividad de agua, naturaleza termolábil de algunos nutrientes, pérdida de volátiles y pardeamiento no enzimático (Oliveira, Brandão y Silva, 2016; Driscoll, 2014). También puede verse afectado en términos del contenido de polifenoles y capacidad antioxidante (Figiel y Michalska, 2017).

4.4. Teoría de la espuma

Una espuma es una dispersión coloidal donde el gas está disperso en una fase continua que es el líquido. La fase líquida consiste en películas con moléculas surfactantes que forman uniones continuas. Un compuesto surfactante es una molécula anfífila es decir con un extremo polar y otro extremo no polar, un lado se dispone en la fase líquida y otra en el gas (Figura No.6). La fase gaseosa tiene influencia en el tiempo de coalescencia de la espuma. Algunos ejemplos de gases de grado alimenticio son el aire, dióxido de carbono y nitrógeno, este último es menos soluble en agua lo que retrasa el tiempo de coalescencia de las burbujas. Su respuesta mecánica depende del líquido y gas utilizado, puede comportarse como un sólido o como líquido. Puede ser capaz de retornar a su forma original (viscoelástico) o esculpido (viscoplástico) (Cantant, *et al.*, 2013).

Figura 6. (a) Borde de Plateau y película (b) Surfactantes en la interfaz



Fuente: Cantant, *et al.* (2013).

Una amplia cantidad de gas hace una espuma menos densa que un líquido. Lo que es beneficioso pues contiene menos material y abarca el mismo volumen a menor costo. Una espuma contiene un gran número de interfases, por lo que da mayor área por volumen, así las posibilidades de transferencia molecular se multiplican (Cantant, *et al.*, 2013).

Una interfaz tiende a reducir su área, generando tensión denominada tensión superficial. La forma de las burbujas se determina por la ley de Youg-Laplace, que indica que *la diferencia de presión entre los dos lados de la interfaz es igual al promedio de la curvatura de la interfaz multiplicada por la tensión superficial*. La presión tiende a ser más alta en el área cóncava o interna, por lo que forma una curvatura. Las curvaturas de la burbuja no son modificadas en presencia del líquido y por ello la presión dentro de la burbuja no es sensible a la fracción de líquido o gravedad antes de alcanzar el equilibrio.

La forma de la burbuja y configuración en una espuma nunca está configurada en su forma óptima. Más bien mantienen una formación de energía mínima, a medida que se deforma encuentran un estado con menor energía (Cantant, *et al.*, 2013). El sistema de burbujas busca reducir energía compartiendo la interfaz y reduciendo el área interfacial total. Algunas leyes de Plateau gobiernan este comportamiento de minimización del área superficial y conservación de volumen. La unión de burbujas forma bordes de Plateau, entre cada borde hay una lamela o película delgada.

Los bordes de Plateau son canales que llevan líquido, donde corre libremente por succión capilar. Ambos el película y bordes de Plateau poseen líquido moviéndose libremente. La formación de burbujas y sus propiedades se encuentra mediada por la interacción de fuerzas de London van der Waals, electrostática, repulsión estérica, interacción supramolecular y presión dinámica. Para crear espuma deben existir fuerzas repulsivas para promover una presión de separación que de balance a la succión capilar. De lo contrario el grosor de la interfaz disminuye a cero, provocando rupturas. Estas fuerzas repulsivas entre superficies permiten llevar la espuma al equilibrio, no a la estabilidad, lo que define el grosor de la interfaz (Cantant, *et al.*, 2013).

Dependiendo de la razón entre la fase dispersa y continua, la espuma se puede clasificar como espuma poliédrica o espuma de burbujas diluidas. Una espuma poliédrica posee una estructura similar a la de un panal resultado de la compresión entre un gran número de burbujas. Se le conoce también como espuma seca, pues en este caso la fracción de líquido es mínima y no tiene ningún rol. Una espuma de burbujas diluidas se convierte en espuma húmeda cuando la presión osmótica desaparece. La cantidad de gas en esta dispersión es menor que la de líquido, obtienen la forma esférica mencionada anteriormente. La densidad de estas espumas entra en un rango de 0.2 a 0.8 g/mL, el mismo rango recomendado para el secado por el método de espuma (Ling y Suilaman, 2018).

El uso de líquidos viscosos usualmente produce espumas más estables, debido a una mayor elasticidad de la película o lamela. Esto permite disminuir la presión en los bordes de Plateau y mantener la presión de la burbuja alta (Mournit, 2015; Cantat, *et al.*, 2013). Para mayor comprensión de la estructura ver Figura No. 6 y 7.

4.4.1. Estabilidad de espuma

El éxito de secado por método de espuma depende de la producción de espumas estables al calor y estables a procesos mecánicos. La estabilidad mecánica evita el colapso de la estructura durante el secado, si logra mantener su estructura durante una hora es considerada estable. La estabilidad térmica retiene la estructura porosa y permite un menor tiempo de secado. Una espuma no estable al calor, puede colapsarse y ofrecer características pobres de hidratación, mayor tiempo de secado, pérdida de nutrientes, color, textura y sabor. La estabilidad de la estructura depende del tamaño de burbuja, concentración de surfactantes, viscosidad del líquido, composición del alimento a secar, así como el tiempo de batido (Barros y Alvarenga, 2016; Krasaekoopt y Bhatia, 2012).

La estabilidad de la espuma se puede determinar por medio del cambio de densidad en el tiempo, tamaño de burbuja en un rango de tiempo, así como la cuantificación del líquido drenado o pérdida de altura de la espuma durante un periodo de tiempo. El índice de estabilidad se define como el cambio en el volumen respecto al tiempo, se utiliza como indicador de la estabilidad de la espuma (Mounir, 2017)

La combinación de una serie de mecanismos de estabilidad y/o la reducción del número de burbujas provoca que la espuma tienda a la coalescencia con ello pierde volumen hasta desaparecer (Figura No.7). Un material sólido con estructura de espuma es el resultado de la solidificación de la estructura de espuma líquida antes de que se funda. La inestabilidad se puede clasificar en dos tipos (1) Espuma transitoria, con segundos de vida (2) Espuma metaestable, o espuma permanente con tiempos de vida de horas a días. (Cantat, *et al.*, 2013; Hardy y Jideani, 2015). A continuación, una serie de factores que provocan la coalescencia de la burbuja:

- Surfactantes. El hecho de que una solución pueda formar espumas se debe a una serie de mecanismos para producirla, estabilizarla o destruirla. La capacidad espumante es una medida cualitativa de su capacidad para producir espumas luego de aplicar uno de los métodos de formación de espuma. Los surfactantes tienen una alta influencia en la capacidad espumante, modifican estas propiedades, pero dependen de la velocidad a la que cubren una interfaz. Así como la concentración de la superficie en equilibrio.

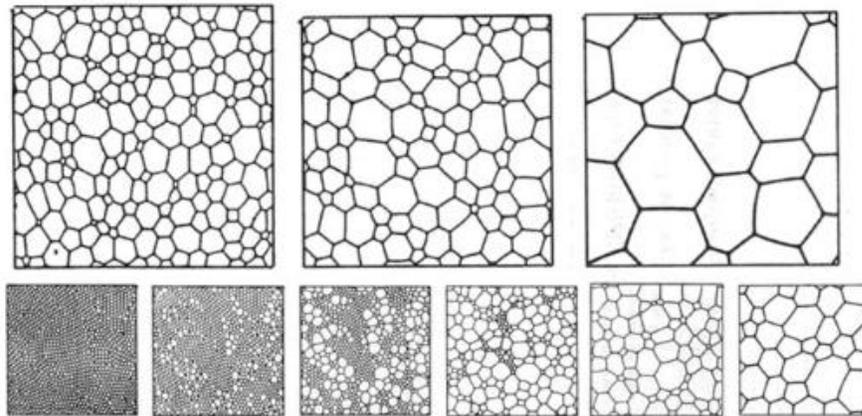
Para una rápida formación de espuma, las burbujas deben ser cubiertas con surfactante lo más rápido posible, lo que permite disminuir la tensión superficial y estabilizar la espuma. Es necesario comparar el tiempo de adsorción o de disminución de tensión de superficie respecto al tiempo de formación de burbujas. Si el tiempo de formación de burbujas es amplio no es necesario que los surfactantes se adsorban rápido, es posible crear espuma con menor concentración de surfactante. Si es un tiempo de formación de burbujas rápido, solo los sistemas con menor tensión superficial crearan espuma (Cantat, *et al.*, 2013). Los surfactantes influyen la estabilidad de la espuma por medio de las interacciones proteína-proteína o proteína-estabilizante. Estos reactivos se ven afectados por factores como pH y temperatura.

- Drenaje. El tamaño de las burbujas depende de la fracción del líquido y por ende también el flujo de drenado. La razón de drenaje depende de la diferencia de densidad entre el gas y el líquido (Cantat, *et al.*, 2013). El drenaje puede reducirse añadiendo partículas o

incrementando la viscosidad del líquido. El efecto de la adición de partículas en la formación y estabilidad de la espuma depende del tipo de surfactante, tamaño de partícula y concentración. Las partículas hidrofílicas en la fase acuosa pueden promover la estabilidad de la espuma al reducir el proceso de drenaje (Hardy y Jideani, 2015).

- Engrosamiento. La solubilidad entre líquido y gas es mínima, pero es suficiente para generar una diferencia de presiones entre burbujas. Cercano al momento de equilibrio mecánico, esto se da este diferencial de presiones que resulta en la reducción del número de burbujas y el incremento del tamaño ellas, denominado engrosamiento. Lo que afecta el volumen de las burbujas y estructura a cada instante (Cantant, *et al.*, 2013).
- Presión interna de la burbuja. La presión es inversamente proporcional al radio de la burbuja. Las burbujas pequeñas son las que tienen mayor sobrepresión relativa al líquida y tienden a perder más gas de lo que pueden recibir. Las burbujas grandes reciben más gas del líquido de lo que pueden perder. Por lo que esta última tiende a crecer con el tiempo y las burbujas pequeñas tienden a encogerse y desaparecer. Es en este punto donde las burbujas se dirigen a formas menos demandantes de energía (Cantant, *et al.*, 2013).
- Gravedad. la geometría de los bordes y secciones que llevan consigo líquido en la espuma están dictados por la presión del líquido. En el equilibrio la presión del líquido está determinado por la hidrostática. Sin embargo, en respuesta a la gravedad, el flujo de líquido se drena (Cantant, *et al.*, 2013).

Figura 7. Transición de espuma estable a coalescencia.



Fuente: Cantant, *et al.* (2013)

4.4.2. Agentes espumantes y estabilizantes

Los agentes espumantes o surfactantes para el secado por el método de espumas deberían contar con las siguientes propiedades (Barros y Alvarenga, 2016):

- Habilidad de estabilizar espumas rápido a bajas concentraciones
- Desempeño efectivo en el rango de pH que los alimentos podrían poseer.
- Ser eficientes aun en sistemas que posean agentes antiespumantes como: grasas, alcohol o sustancias de sabor.

Varios agentes espumantes han sido utilizados en el desarrollo de espuma, entre ellos proteínas, fosfolípidos, polisacáridos de alto peso molecular, monoglicéridos y diglicéridos. Los polisacáridos de alto peso molecular mejoran la estabilidad de la espuma al incrementar la viscoelasticidad de la lamela. La concentración de cualquier agente espumante debe optimizarse para obtener una mayor eficiencia y rapidez de secado. A continuación, se describirán agentes espumantes y estabilizantes utilizados en el secado por método de espuma (Barros y Alvarenga, 2016).

- **Proteínas**

Las proteínas actúan como surfactantes contribuyendo a la formación y estabilidad de la espuma. Se adhieren a la interfaz, reducen la tensión superficial y forman películas viscoelásticas generalmente resistentes a la ruptura y coalescencia de las burbujas. Otros agentes espumantes son la proteína de arveja, gelatina y albúmina de goma guar (Barros y Alvarenga, 2016).

Albúmina de huevo. contiene más de 40 proteínas diferentes, entre ellas ovoalbúmina, globulina y ovo mucoide. La combinación de estas proteínas complejas hace de la albúmina una solución de surfactantes. Cada proteína aporta diferentes tensiones superficiales y capacidad espumante, pero su combinación resulta más efectiva que al aislar cada una. La adición de azúcar y sal aumenta sus propiedades espumantes debido a las propiedades que aportan viscosidad y fuerza iónica respectivamente (Hardy y Jideani, 2015).

Su eficiencia en formar espumas se atribuye a su capacidad para desdoblarse parcialmente las proteínas exponiendo los grupos hidrofóbicos a la superficie. Esto incrementa su naturaleza anfífila y flexibilidad para mejorar sus propiedades espumantes. Su capacidad para desdoblarse puede controlarse al ajustar el pH, en pH extremo de 1.5, 2.5, 3.5, 10.5, 11.5 y 12.5 las proteínas se desdoblan. En el rango de pH de 4.5 a 8.5 las proteínas regresan a su estructura habitual y este rango corresponde al pH de la mayoría de los alimentos, limitando el uso de albúmina de huevo (Hardy y Jideani, 2015). Al aplicar este rango de pH y comprobar su efecto en la capacidad espumante, no hay diferencia significativa. Sin embargo, si hay una diferencia significativa en el efecto del pH sobre la estabilidad de la espuma. Donde el pH ácido de 3,4 y 5 generó mayor estabilidad debido a la mayor razón de adsorción. (Altahi, 2013)

Cada proteína posee distintas temperaturas de desnaturalización lo que depende del grado de pH. En el caso de la ovotransferrina su temperatura de desnaturalización a pH de 7 es de 65°C lo que la hace una limitante en el secado por método de espuma (Barros y Alvarenga, 2016). El tamaño de burbuja al contar con el número máximo de burbujas varía entre 30 – 40 µm de diámetro al añadir 0.125% de goma xantana. El tiempo de batido es más corto que otros agentes espumantes, lo que indica que las proteínas son adsorbidas más rápidamente y en su misma medida desnaturalizadas (Muthukumaran, 2007).

- **Carbohidratos**

Los carbohidratos utilizados en la elaboración de espumas consisten en polímeros de cadena larga y alto peso molecular capaces de solubilizarse en agua. Los polisacáridos pueden interactuar con las proteínas adsorbidas y formar complejos que incrementan la rigidez de la interfaz y la actividad de la proteína. Además, ayudan a estabilizar a las proteínas a través de su efecto espesante (Schmidt, *et al.*, 2010). Algunos agentes estabilizantes de espumas son las pectinas, gelatinas, almidón, goma xantana y goma arábica. Disminuyen la razón de coalescencia e incrementa la viscosidad de la fase continua (Barros y Alvarenga, 2016; Mounir, 2017).

La funcionalidad de los polisacáridos en las interfases se describe por los cambios termodinámicos de la energía de Gibbs del sistema polímero – solvente. Si las interacciones son favorables, hace conflictivo el arreglo hidrofóbico a la interfase acuosa. Las interacciones no favorables para solvatación de los polímeros pueden llevar al anclaje interfacial o asociación entre polímeros. Los polisacáridos se adsorben rápidamente cuando la interacción con interfaz-polisacárido es más afín que la interacción interfaz-solvente. Esto depende de la composición química y grupos específicos del polímero. Se dice que hay una fuerte relación entre la microestructura interfacial y la respuesta a deformaciones no lineares, que está relacionado con la resistencia a la ruptura (Kontogiorgos, 2019).

Un estabilizante como la pectina, puede formar soluciones viscoelásticas y redes estructurales. La pectina es un polisacárido, constituido por polímeros de ácido galacturónico y cadenas de azúcares neutrales como galactosa y arabinosa. La combinación de Napin (una proteína) y pectina forma complejos electrostáticos (de cargas opuestas) que mejoran las propiedades espumantes. La rapidez de drenado también disminuyó debido a la presencia de los complejos solubles que disminuyeron en los bordes de Plateau (Schmidt, *et al.*, 2010).

En las propiedades espumantes de hidrocoloides endémicos (goma de qodume shahri, albahaca, tarro y berro) y goma xantana en el secado de hongos blancos (*A. bisporus*). Se determinó que la concentración de hidrocoloides endémicos incrementó significativamente la densidad de la espuma y la estabilidad de la espuma. Posiblemente por su baja viscosidad y presencia de glicoproteínas o polisacáridos-proteína que afectan en la actividad de superficie. Los hidrocoloides hidrofóbicos no son absorbidos en los bordes de Plateau incrementando la estabilidad de la espuma (Pasban, *et al.*, 2014). Además, un incremento excesivo en la viscosidad de la fase acuosa interrumpe el ingreso de aire y como consecuencia afecta la expansión de la espuma (Bag, *et al.*, 2011). Por ello la goma xantana tuvo un efecto contrario en la expansión de la espuma, pero muestra efectos positivos en su estabilidad (Pasban, *et al.*, 2014).

Las afirmaciones anteriores sugieren el uso de polisacáridos únicamente como estabilizantes. Sin embargo, un polisacárido utilizado para como espumante y estabilizador es la metilcelulosa, un derivado de celulosa altamente purificado (99%). La metilcelulosa es una molécula no-iónica, que puede actuar como agente hidrofílico e hidrofóbico. Puede formar geles a altas temperaturas debido a las interacciones hidrofóbicas que estabilizan los enlaces de hidrógeno (Hardy y Jideani, 2015). En la elaboración de espuma de papaya se aplicó metilcelulosa como agente espumante para optimizar las propiedades de espuma con distintas concentraciones metilcelulosa (0.25, 0.50, 0.75, 1% p/p). La máxima estabilidad o retención de volumen fue de 83% al utilizar 0.75% de metilcelulosa (Kandasamy, *et al.*, 2012).

En general los derivados de celulosa son capaces de adsorberse en la interfase de una solución aire-agua. Lo que hace útil a la metilcelulosa como espumante es que disminuye la tensión superficial. En el caso de su adición al agua, la tensión superficial disminuyó a 48 mJ/m². Al adicionar un surfactante y metilcelulosa, la tensión superficial es incluso menor que al utilizar únicamente surfactante. Una ventaja de la metilcelulosa para su uso como agente espumante, no

pierde su estabilidad incluso al alcanzar el punto de polimerización que es de 70°C (Hu, *et al.*, 2016).

Un estudio comparó el uso de albúmina y pectina como agentes espumantes en el secado de Zapote. Determinó que con la albúmina de huevo y metilcelulosa la expansión era menor que con el uso de pectina y metilcelulosa, que son polisacáridos. Sin embargo, la concentración óptima de pectina y metilcelulosa fue de 2.21 y 4.41% respectivamente. De ese modo la expansión fue de 60.35% y estabilidad de 77.13%. La conclusión fue que probablemente la pectina no es un agente adecuado como agente espumante, pues se necesita una mayor cantidad de estabilizante (Durge, *et al.*, 2014). Y en este caso el estabilizante también le ayudó a espumar y posiblemente evitar el colapso por la exposición a calor. Ambos comportamientos, de la pectina y metilcelulosa, se pueden esperar de polisacáridos de fuentes vegetales utilizados como agentes espumantes.

4.5. Secado por método de espuma.

Consiste en transformar productos en su estado líquido, semilíquido o semisólido a espumas estables, que luego son secadas en capas delgadas utilizando aire caliente a temperaturas entre 50 – 80°C hasta alcanzar la humedad deseada (Kadam, Paatil y Kaushik, 2010; Febrianto, *et al.*, 2012). El producto seco pasa por molienda para obtener polvo. La diferencia entre el secado de espuma y otros métodos de secado es que la estructura celular del alimento se rompe y se incorpora aire previo a secarse (Mounir, 2017).

Este método permite una rápida de remoción de agua, a continuación, el modo de transferencia de masa y razones que lo permiten:

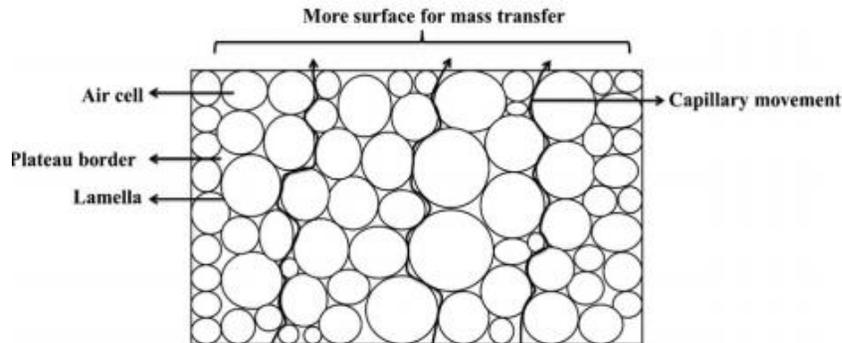
- 1) La estructura abierta de la espuma provee amplia área de superficie donde el agua condensada se difunde en las paredes delgadas de la espuma y se evapora rápidamente en las fases iniciales del proceso de secado (Figura No.8) (Hardy y Jideani, 2015). En la segunda fase de secado, la evaporación sucede por capilaridad a través de la lámina de espuma hacia la superficie externa de la espuma (Sankat y Castaigne, 2004).
- 2) La rapidez de secado también se atribuye a la exposición continua de nuevas capas de burbujas debido al estallido progresivo de las mismas, generando frecuentes periodos de secado con rapidez constante en la etapa inicial (Hardy y Jideani, 2015).
- 3) La razón de evaporación interna en las burbujas es baja debido a la poca permeación del vapor a través de los poros de la espuma, por lo que generalmente no se observa la transferencia simultánea de calor y vapor. Por ello los materiales deshidratados por este método generalmente son secados con dos periodos de secado superficial no saturado (Mounir, 2017).

El requisito para el éxito del método consiste en la estabilidad de la espuma, es el medio de transferencia de masa. Por ello es importante la estabilidad mecánica, térmica, tamaño de la espuma y tiempo de vida de la espuma (Kadam, Paatil y Kaushik, 2010). Además, ofrecen ventajas al momento de dispersar en bandejas para mejor control del grosor de capa y por ende ofrecer un secado uniforme (Hardy y Jideani, 2015). El utilizar una espuma como medio aporta una textura porosa al producto final que mejora las propiedades de reconstitución de polvos (Sangamithra, *et al.*, 2014).

Otros factores originados de la espuma que afectan el producto final son sus características: tamaño de burbuja, densidad de la espuma, expansión de espuma, estabilidad de espuma. Las propiedades de la espuma dependen no solo del agente espumante, sino de la interacción con el alimento, la concentración de alimento, tiempo de batido, fuerzas de superficie, interacciones

interfaciales. Asimismo, las condiciones de secado tienen efecto en el producto, la temperatura de secado, velocidad del aire, grosor de la espuma, tiempo de secado. La razón de secado incrementa con la temperatura, velocidad del aire. Y disminuye con el aumento del grosor y densidad. (Cinar, 2020)

Figura 8. Transferencia de masa a través de la espuma



Fuente: Qadri, Srivastava y Yousuf (2019)

4.5.1. Beneficios de su aplicación

El secado por el método de espuma (Foam-mat drying) fue patentado por Campbell en 1917 para el secado de leche, seguido de patentes para el secado de albúmina de huevo. En la última década el método ha vuelto a llamar la atención debido a su potencial para deshidratar alimentos líquidos y semilíquidos complicados de secar (Kadam, Patil, Kaushik, 2010). Algunos ejemplos, son los alimentos sensibles al calor y con alta cantidad de azúcares. Este método ofrece productos con propiedades deseables en polvos, como fáciles de reconstituir. En términos de calidad, se ha demostrado retención de las propiedades nutricionales, secado rápido a menores temperaturas y retención de volátiles. En consecuencia, esta tecnología se ha aplicado en purés y jugos de frutas, verduras, pastas de cereal y mariscos (Azizpour, *et al.*, 2013; Mounir, 2017).

El método por secado de espuma, así como el método de liofilización, secado por aspersión y microondas, aporta un producto con mejor calidad, estable al almacenarse, de secado rápido y uniforme (véase Cuadro No.24 en anexos) (Hardy y Jideani, 2015). Es más económico, accesible y simple de aplicar. Utiliza tecnologías de primera generación, lo que lo hace fácil de aplicar. Cabe resaltar los costos de equipo son menores comparados a los de liofilización, por ejemplo. Comparado al secado por aspersión, microondas, al vacío y liofilización no requiere un alto consumo de energía lo que lo hace económico. Además, está enfocado en alimentos sensibles, por lo que las temperaturas aplicadas son bajas, la espuma aumenta la rapidez de evaporación disminuyendo el tiempo de secado. El método secado por espuma comparado al secado con tambor y secador con cinta transportadora es más económico en un 10% y 11% respectivamente, atribuido al mayor rendimiento y menor tiempo de secado (Ratti y Kundra, 2006).

Se sugiere el secado por espuma como una tecnología con el potencial de ser utilizado a escala industrial. Es una buena alternativa a tecnologías de mayor costo para pequeñas empresas que solicitan menor inversión de capital. Aun así, una desventaja del método es el uso de aditivos (agentes espumantes y estabilizantes), en este caso las pérdidas por de la okra ayudarían a reducir el costo de inversión en aditivos de alto costo.

Proceso de producción de polvos por el método de secado por espuma

El proceso se ilustra en la Figura No.9, las etapas de secado han sido descritas anteriormente. Otras etapas de gran importancia en el desarrollo de polvos de frutas son la pasteurización de la materia prima, batido y proceso de pulverización y modo de almacenamiento.

- **Pasteurización:** del producto permite inactivar las enzimas y disminuir la carga microbiana. La aplicación inadecuada de este método podría provocar pardeamiento enzimático durante el almacenamiento del producto.
- **Batido:** se refiere a la agitación constante utilizando un aparato especial, generalmente requiere estrés mecánico severo y estrés de corte. Este método permite incluir una cantidad ilimitada de gas dentro del líquido y dispersarlo uniformemente, más que el método de inyección de gas. Generalmente el volumen de la espuma incrementa con la velocidad de batido, pero también depende de la amplitud, frecuencia de batido, forma del contenedor, contenido de proteína y temperatura del líquido utilizado (Sangamithra *et al.* 2014).

El tamaño de la burbuja inicialmente es grande, por la agitación mecánica se rompen en burbujas más pequeñas. La velocidad de agitación, reología del líquido y geometría del aparato definen el tamaño final de las burbujas. El estrés mecánico durante el batido genera más coalescencia de burbujas que al no estar sujeto a él. (Sangamithra, 2014; Hardy y Jideani, 2015).

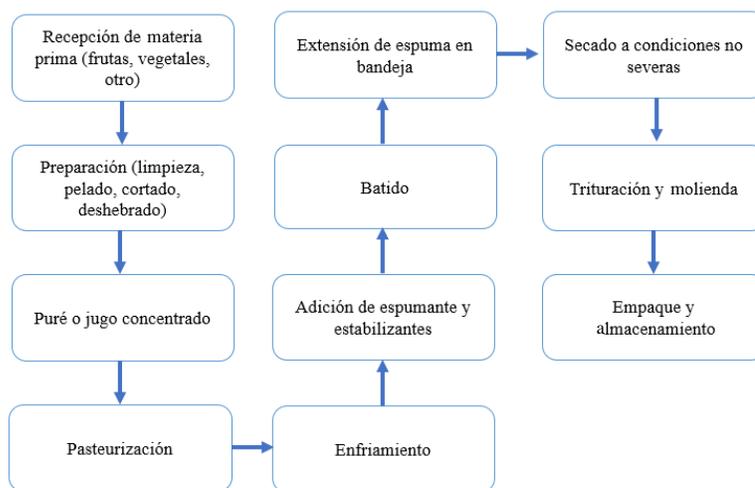
- **Pulverización:** tiene el propósito de convertir el producto seco en partículas finas. Durante la molienda el cizallamiento o fricción puede generar calor que puede desestabilizar el polvo, suavizarlo y generar pegajosidad (Jiang y Zhang, 2013). Por ello es recomendado enfriar el producto previo a pulverizarse.

Se debe realizar en ambientes de bajo grado de humedad relativa, tienden a ser productos con baja temperatura de transición por lo que pueden ser higroscópicos. Es importante considerar el tamaño de partícula. El tamaño de partícula del polvo posee efectos significativos en aspectos sensoriales como; color, apariencia, aromas, sensación bucal, sabor y la aceptabilidad. Con respecto a las propiedades de polvos, el tamaño de partícula tiene una relación directa con la solubilidad e índice de absorción de agua. Las partículas que pasaron por medio del tamiz #60, fueron las más aceptadas en el polvo de mango en el ámbito sensorial (Sharma, 2013).

- **Empaque y Almacenamiento:** tiene como propósito mantener las características organolépticas y nutricionales. A su vez prolongar el tiempo de vida del alimento por medio de un empaque hermético que preserve sus propiedades ideales de polvo como baja humedad y actividad de agua, densidad de bulto, relación de Hauser, entre otros.

Empaques con alta permeabilidad al agua no son adecuados para polvos de fruta debido a que aumentarían la humedad del producto, lo que provoca una disminución en la temperatura de transición. La temperatura de transición está relacionada con la cohesión y formación de grumos en los polvos, almacenar a temperaturas inferiores a esta es lo más recomendado. El empaque tampoco debe ser permeable al oxígeno y debe contar con una barrera que evite el contacto con la luz, esto para prevenir la oxidación. La oxidación puede generar pardeamiento en el producto y deterioro de las propiedades funcionales (Jiang y Zhang, 2013).

Figura 9. Diagrama de flujo del método de secado por el método de espuma.



Fuente: Mounir (2017); Tirira, (2014)

4.5.2. Efecto de los aditivos en los parámetros de evaluación de espumas

Las características de una mejor espuma se evalúan por medio de varios parámetros incluyendo capacidad espumante, conductividad de la espuma, líquido drenado, porcentaje de aireado (overrun), índice de estabilidad, densidad de espuma, entre otros (Cinar, 2020). La densidad hace referencia al contenido de aire en la burbuja, se mencionaba anteriormente en el secado por espumas lo adecuado es que esté entre 0.2 y 0.6 g/cm³ (Ling y Suilaman, 2018). La expansión de la espuma y densidad de la espuma hacen referencia a la capacidad de espumar, y se tienden a optimizar de manera inversa. Se busca el máximo de la expansión de espuma o mínima densidad. La expansión de la espuma aumenta con la disminución de los sólidos solubles, pero este efecto depende del espumante (Kandsamy, *et al.*, 2012).

Con respecto al efecto de la concentración del agente espumante en la densidad de la espuma, se puede observar en la optimización de las propiedades espumantes de la espuma de melón utilizando aislado de proteína de soya (SPI) y carboximetilcelulosa (CMC). Una mayor concentración de SPI y tiempo de batido, ocasiona que la densidad reduzca gradualmente y aumenta la expansión. La disminución de la densidad es sinónimo de mayor contenido de gas atrapado en la espuma. Esto acelera el proceso de la remoción de agua durante el secado aportando una mayor área superficial de secado. Además, la concentración de CMC tiene un papel significativo en la espuma previniendo que colapse, debido a su poder emulsificante que promueve la viscoelasticidad de la lamela (Asokapandian, *et al.*, 2015)

En la optimización de espuma de fruta Gac aril (*Momordica cochinchinesis*) y metilcelulosa el uso de 1.5% de metilcelulosa, reduce la densidad de 1.02 g/cm³ a 0.53 g/cm³ y la expansión de la espuma aumentó de un 3.47% a un 88.70%. Atribuido también al aumento en el tiempo de batido de 25 minutos (Ausikchainyoung y Rojanakorn, 2015).

A continuación, el efecto del uso excesivo de estabilizante en la densidad de la espuma en una espuma optimizada de Melón (*C. melo*) elaborada con 3% (p/p) albúmina de huevo (EW), 0.17% (p/p) goma xantana y tiempo de batido de 8.8 min. El incrementar la concentración de goma xantana tuvo efectos negativos, pues disminuía la expansión de la espuma e incrementaba su densidad. La goma xantana aumenta la viscosidad que en exceso previene atrapar aire durante el batido, resulta en menor expansión de espuma. Cabe resaltar, similar al aislado de proteína de soya,

el incremento en la albúmina de huevo de 1 a 3% disminuyó la densidad de la espuma. El tiempo de batido fue incrementado gradualmente de 2 a 10 minutos, mayores tiempos de batido disminuyeron la densidad (Salahi, Mohebbi y Taghizadeh, 2014).

La estabilidad refleja la capacidad de retener agua en la espuma, y permite determinar la razón de pérdida de volumen en el tiempo. Las principales razones de coalescencia se describen en la sección 4.4.1 de estabilidad de espumas. Como se mencionó anteriormente, la concentración de 0.75% de metilcelulosa (MC) aportó mayor estabilidad de 83.5% a 9° Brix que es proporcional a la concentración de fruta (Kandasamy, *et al.*, 2012). Ahora bien, en el desarrollo de espuma de melón los agentes surfactantes como la albúmina de huevo (EW), concentrado de proteína de suero de leche (WPC) y aislado de proteína de soya (SPI) son necesarios para la formación de espuma. Sin embargo, se presenta drenado al no utilizar un agente estabilizante, que reduce el drenado gravitacional a casi cero. Infiriendo la importancia de su aplicación en el desarrollo de espumas. Respecto al tiempo de batido, la incorporación de un grado excesivo de aire también puede provocar la coalescencia de la espuma (Sangamithra, 2016).

4.5.3. Características de secado

La rapidez de secado depende de la espuma, grosor de la lámina de espuma, agente espumante y temperatura de secado (Mounir, 2017). El secado de espuma de melón responde diferente a distintos grosores (3 y 5 mm) y temperaturas (40, 55 y 70°C). En general, la transferencia de masa es más rápida en la fase inicial que en la fase final. Presenta dos periodos de secado de superficie no saturada (no constante), que controlan la evaporación del agua ligada. La difusividad efectiva de humedad de la espuma de melón, que utiliza albumina de huevo y goma xantana, depende de la estructura de los poros y las interacciones con la estructura de la espuma (Salahi, *et al.*, 2017).

De mayores temperaturas y menores grosores, se obtienen mayores razones de secado. Esto se debe en parte a la difusividad efectiva de humedad dentro espuma de melón. Que es más rápida con el aumento de temperatura y grosor de lámina. Aumenta debido a la energía, presión de vapor y distancia dada a las moléculas de agua en el sistema (Salahi, 2014; Salahi, 2017). El efecto del grosor en la difusividad de humedad permite una mejor migración de la humedad a lo largo de la lámina. El análisis de su microestructura demostró que al utilizar mayores temperaturas se reduce el colapso de burbujas debido a menor tiempo expuesto al calor. En estas condiciones también se obtiene una estructura más porosa, que indica mayor transferencia de masa y calor. La porosidad es favorable para la solubilidad de productos secos (Salahi, 2017).

Con respecto al efecto de los agentes espumantes en los tiempos y razones de secado de la espuma de melón. En general las tres espumas fueron secadas a mayor rapidez al utilizar la mayor temperatura que era de 70°C. Las razones de secado fueron de 0.830 g/min, 1.005g/min y 0.914 g/min para la espuma con SPI, EW y WPI respectivamente. El tiempo de secado a 70°C al no espumar fue de 600 min y redujo a 330 min al utilizar la espuma optimizada con albumen de huevo. Esto se debe a una mayor difusión efectiva por la formación de burbujas que facilitan la remoción de humedad de la pulpa (Sangamithra, 2016)

En la deshidratación de higo (*Ficus carica* L.), se optimizó la composición de la espuma en términos de maximizar la capacidad espumante y minimizar el drenado. La espuma fue secada con aire caliente y microondas. La razón de secado disminuyó con el descenso de la humedad. Además, tanto la temperatura del aire, menor grosor y la energía del microondas disminuyó el tiempo de secado. Un menor grosor, mayor temperatura y energía del microondas disminuyeron la actividad de agua. Resultando en menor actividad microbiana, reacciones enzimáticas y no enzimáticas. Este polvo contaba una textura pegajosa, relacionada con la baja temperatura de transición del azúcar (Varhan, *et al.*, 2019).

4.5.4. Propiedades de los productos secados por método de espuma.

- **Efecto en el color**

En la espuma de melón (*C. melo*) el color de los productos se tornó más claro por la formación de espuma. A 70°C el valor de luminosidad (*L*) disminuyó de 72.49 a 70.66 que está relacionado con la formación de pardeamiento no enzimático. Así como los valores positivos de (*a*) que indican tonos rojos y los valores de (*b*) positivos que indican amarillo. Estos disminuyeron con el incremento de la temperatura. Estaban relacionados con la pérdida de carotenoides y generación de reacciones de Maillard (Asokapandian, *et al.*, 2015).

Con respecto al efecto del grosor en el color, el valor de luminosidad (*L*) es mayor al utilizar grosor de 3 mm que se atribuye a un menor tiempo de secado (Salahi, *et al.*, 2014). El no espumar melón miel resulta en valores de luminosidad menores. El melón miel espumado posee valores de luminosidad de entre 51.47 a 60.27, el melón no espumado entre 42.42 a 35.83 al trabajar con temperaturas de 50 a 70°C respectivamente (Sangamithra, *et al.*, 2015).

- **Efecto en las propiedades nutricionales: antioxidantes y vitaminas (carotenos y ácido ascórbico)**

Se ha estudiado el efecto de distintas temperaturas y grosores en el contenido de β -carotenos y color del polvo de melón. La composición inicial en la pulpa de melón consistía en 187.59 ± 8.16 μg β -carotenos / g sólido seco de melón. El contenido de β -carotenos en el polvo de melón varió entre 84.01 $\mu\text{g/g}$ (5 mm, 70°C) y 108.96 $\mu\text{g/g}$ (3 mm, 40°C). Un mayor grosor y/o mayor temperatura provocaron mayor pérdida de β -carotenos debido a la estructura de la espuma altamente insaturada (Salahi, Mohebbi y Taghizadeh, 2017).

El incremento en la temperatura de 50°C a 70°C disminuyó significativamente el contenido de ácido ascórbico en el secado de melón verde o de miel debido a sus propiedades termosensibles. El uso de distintos tipos de agentes espumantes (SPI, EA, WPI) no tuvo un efecto significativo en la preservación del contenido de ácido ascórbico. Sin embargo, la menor pérdida de ácido ascórbico se obtuvo al utilizar la espuma con WPC a 50, 60, 70°C fue de 16.44, 21.60 y 36.48% respectivamente (Sangamithra, 2016).

El tiempo de secado y temperatura de secado son variables significativas en la retención de vitamina C y β -carotenos. Fue claro en el secado de melón sin espumar, donde se presentó una pérdida de 32.60 a 33.76% del contenido de β -carotenos. Una pérdida menor de β -carotenos se observó al utilizar las espumas optimizadas a 50°C de 12.49, 14.53 y 11.93% para la EW, SPI y WPC respectivamente. La retención de estos nutrientes fue mayor en las pulpas espumadas debido a que la razón de secado es mayor, lo que resulta en menores pérdidas de las vitaminas sensibles al calor. (Sangamithra, 2016)

Existen otros factores que afectan o tienen influencia en la degradación de la vitamina C, puede ocurrir en función de la actividad de agua. Entre 0.32 y 0.84, la mayor tasa de pérdida de vitamina C ocurrió a mayor actividad de agua. En el polvo de papaya, el secado con grosores y temperaturas altas de entre 6 a 8 mm y 65 a 70°C respectivamente redujo significativamente el contenido de ácido ascórbico y β -caroteno. Los efectos sensoriales de los productos secados a 65 y 70°C fueron negativos respecto a color, sabor, olor y aceptabilidad en general. Una mayor aceptabilidad se obtuvo al utilizar una temperatura de 60°C, donde se preservó mejor el contenido de ácido ascórbico y betacaroteno (Kandasamy, *et al.*, 2012)

El fruto Gac aril (*Momordica cochinchinensis*), espumado con metilcelulosa, muestra menor degradación de β -carotenos, licopeno, compuestos fenólicos totales (83.43 $\mu\text{g/g}$, 690.16 $\mu\text{g/g}$ y 8.93 mg/g respectivamente) y mayor actividad antioxidante al ser secada a 70°C. El grosor y temperatura

fueron factores críticos que afectaron significativamente el contenido de los compuestos anteriores. El producto obtenido de láminas de espuma de 1 mm de grosor secadas a 70°C mostró los mayores valores en la prueba DPPH de 28.21 mg de equivalentes de trolox/g de Gac aril seco (Ausikchainyoung y Rojanakorn, 2015).

4.6. Polvo de melón

4.6.1. Uso de polvo de melón

Las frutas y verduras deshidratadas son utilizadas ampliamente en la industria de bebidas y alimentos para el desarrollo de productos de confitería, salsas, té, pudines, alimentos para infantes y niños. El polvo de frutas y vegetales tiende a ser utilizado como un agente funcional por la concentración de los nutrientes o colorante natural. También se utiliza como saborizante para helados, yogurt, barras de frutas, o aplicaciones en alimentos salados como sopas deshidratadas. En el caso del polvo de melón ha sido aplicado en el desarrollo de bebidas de melón listas para consumir marca Klass y té de melón miel marca Stash (véase Figura No.21 y 22 en anexos). Ha sido aplicado como saborizante en postres de la marca Nestlé (KitKat) y bebidas naturales (Nesfruta) (véase Figura No.19 y 20).

4.6.2. Propiedades del polvo de melón

Preservar los aromas, color y sabor del polvo depende del método de secado, método de molienda, formulación, calidad del fruto fresco y el origen de la fruta. Indicadores de propiedades pobres de polvo de fruta y verdura son el desarrollo de cristales, higroscopicidad, contracción, pérdidas de color, sabor, aroma y aspectos nutricionales (Karam, 2016). Algunos parámetros para determinar la calidad del polvo de melón corresponden análisis de colorimetría, análisis fisicoquímicos para determinar acidez, sólidos solubles o azúcares totales.

El análisis sensorial, se realiza para determinar aceptación del producto comparado a la materia prima, pues se busca sean lo más similares posible. Preservación de contenido nutricional, vitamina A y C que son los más sensibles y prominentes. Y las propiedades típicas de polvos descritas en siguientes secciones. Para preservar la calidad de productos sensibles se recomienda un empaque laminado con Aluminio para evitar el contacto con los rayos UV, disminuir la permeabilidad al oxígeno y agua. Al utilizar este empaque se espera poder preservar los macro y micronutrientes, como se manifestó en el almacenamiento de tomate en polvo (Sarker, 2014).

4.6.3. Propiedades de polvos

Humedad

La humedad es un aspecto crítico que considerar en el manejo de polvos instantáneos como el café o cocoa. Principalmente por la formación de películas interparticulares que están asociados con alta cohesividad y son responsables de formar aglomeración de partícula. Su desarrollo provoca dificultades de flujo e incluso formación de terrones (Barbosa, *et al.*, 2005).

Propiedades de flujo

Se refiere al movimiento en conjunto de partículas a lo largo de una superficie, son propiedades importantes para el manejo del sólido, elección de equipo y almacenamiento. Algunos factores que afectan en la fluidez del material son el tamaño de partícula, fricción, cohesividad y atasco de partículas. El problema con la cohesividad en polvos de la industria de alimento es que tiende a acompañarse de sustancias pegajosas, higroscopicidad y otros factores. Lo que crea problemas de transporte y almacenamiento. La higroscopicidad se refiere a la habilidad de un polvo para absorber agua del ambiente, lo que depende de la composición química y naturaleza del producto (Juarez, *et al.*, 2017; Barbosa, *et al.*, 2005).

a) Densidad aparente

Ambas son fundamentales en el control de calidad, pueden ayudar en la determinación de capacidad de mezclado con otros productos o en la elección de empaque. La densidad de bulto se refiere a la masa del polvo por unidad de volumen, mientras que la porosidad se refiere al volumen ocupado por los espacios vacíos formados en un conjunto de partículas. La densidad de bulto puede denominarse aireada o aparente. Es útil pues ayuda a determinar el costo de empaque transporte y afecta el procesamiento. Altas densidades de bulto pueden reducir el costo de exportación y el costo de los materiales de empaque. Bajas densidades de bulto, pueden hacer el producto más competitivo pues posee un mayor volumen por peso. Por otro lado, la densidad comprimida se refiere a la densidad obtenida luego de someterse a vibración, referida a densidad teórica (Barbosa, *et al.*, 2005).

Ratio de Hausner. Es la relación entre la densidad comprimida y la densidad de bulto inicial, es una medida del comportamiento de los sólidos al exponerse a movimiento. También pueden relacionarse con sus propiedades de flujo. Si el valor se encuentra en el rango de 1 a 1.1 es un polvo con propiedades de flujo libre. Entre 1.1 y 1.25, tiene propiedades de flujo media. Entre 1.25 a 1.4 y superior a 1.4 indica que es un polvo con dificultades para fluir. Utilizar productos anti aglomerantes tienen a mejorar las propiedades de flujo. Otra forma de mejorar las propiedades de flujo es aglomerando las partículas promoviendo pegajosidad y nuevamente secarlas (Barbosa, *et al.*, 2005).

Propiedades de reconstitución

Las propiedades para reconstituir un polvo se refieren a la rapidez con la que un alimento deshidratado absorbe agua. El método de secado y los tratamientos utilizados afectan en la rehidratación del producto. Los grupos en la elaboración de alimentos instantáneos son por medio de la aglomeración o no aglomeración. Los productos aglomerados tienden a tener mejores propiedades de flujo, menor tendencia a unirse, homogeneidad, mejores propiedades de rehidratación y mejor densidad para empaque. Algunos factores que afectan en la reconstitución de aglomerados: (a) Tiempo de hidratación. Se refiere al tiempo que les toma a las partículas absorber por succión capilar el agua en su superficie. (b) Capacidad de hundirse (c) Dispersabilidad o dispersión de partículas luego de agitación. (d) Solubilidad: Disolución de aglomerado en un líquido al que es soluble, se refiere a la razón y tiempo que les toma a los aglomerados disolverse (Barbosa, *et al.*, 2005).

4.6.4. Efectos del secado por método de espuma en las propiedades de polvos

Solubilidad y tiempo de disolución

En términos de solubilidad el polvo de melón al aplicar aislado de proteína de soya y CMC este parámetro iba de entre 23% a 26%, menor a la solubilidad del polvo de cereza obtenido por secado de aspersión, liofilización, secado por tambor y al vacío (Asokapandian, *et al.* 2015)

En el secado de melón utilizando de clara de huevo y goma xantana, se obtuvieron propiedades de solubilidad de 81.53% y 82.96% al modificar el grosor y temperatura de secado. Fue atribuido al bajo contenido de humedad y pegajosidad que hace posible disponer de una mayor área de contacto con el agua. Asimismo, aportan en la solubilidad la combinación de carbohidratos y proteínas y bajo nivel de lípidos en su composición. El mayor grosor estudiado y menor temperatura dio el menor tiempo de disolución de 9.20 s (Salahi, Mohebbi y Taghizedeh, 2017). El tiempo de disolución del polvo de melón obtenido por este estudio fue menor que al tiempo de disolución resultante de un polvo de melón secado por aspersión que fue de 20.33 a 23 s (Solval, *et al.*, 2012).

Trabajar con melón verde y no espumar resulta en una solubilidad de 44%. La solubilidad es de 50% a 60% al utilizar albúmina de huevo y CMC (Sangamithra, *et al.*, 2015). El polvo de papaya con albúmina de huevo y dextrina tiene el potencial de ser utilizado para la formulación de productos instantáneos. Pues posee la capacidad de reconstituirse de entre 81.34 y 83.42% dependiendo de la concentración de albúmina y la capacidad para retener agua fue de 6.13 a 6.34 g/g de polvo de papaya (Widoeri y Srianta, 2011).

Densidad de partícula y aparente

La densidad de partículas está influenciada por la densidad de cada componente dentro del polvo. En el caso del higo en polvo las muestras deshidratadas con aire caliente, maltodextrina, albúmina de huevo y CMC presentaron densidades de partícula fueron de 1.35 a 1.60 g/cm³, y concluyó que el grosor de la espuma tiene un efecto significativo en este parámetro. El grosor y la temperatura de secado también afectan el tamaño de partícula, que determina su uso y tiene un efecto significativo en la densidad de aparente, compresibilidad y fluidez de polvo (Varhan, *et al.*, 2019).

En este estudio las temperaturas de 60 a 80°C y grosores de 0.5 a 1 cm resultó en polvos de higo con densidad aparente de 0.36 a 0.50 g/cm³ donde los mayores grosores provocaron las mayores densidades. Esta es una densidad de bulto baja y tiene relación con el contenido de aire en su estructura durante el secado. Las microondas aumentaron la densidad aparente y resultó en propiedades pobres de fluidez (Varhan, *et al.*, 2019).

Con respecto a las propiedades de fluidez, no fueron afectadas negativamente por el tamaño de la partícula al utilizar el método de espuma. Los índices de Carr indicaron propiedades de fluidez ligeramente pobres, el grosor de lámina y temperatura de secado son factores críticos (Varhan, *et al.*, 2019). En el caso del polvo de melón miel con aislado de proteína de soya y CMC, los índices de Carr y ratios de Hausner indicaron propiedades excelentes de fluidez. La incorporación de aire durante el espumado, el agente espumante, el agente estabilizante y el incremento en la temperatura de 50 a 70°C aportaron una naturaleza fluida al polvo melón (Asokapandian, *et al.*, 2015). Otro estudio en la fluidez del polvo de melón (variedad miel) utilizando albúmina de huevo y CMC, determinó que la ratio Hausner representaba un polvo de fluidez media. Es posible comprimir el producto y molerlo a fin de obtener polvos de fluidez libre (Sangamithra, *et al.*, 2015).

Higroscopicidad

La aplicación de mayores temperaturas y menores grosores muestra un incremento en la higroscopicidad y un efecto opuesto en el contenido de humedad (Franco, *et al.*, 2016). En el caso del polvo de melón se obtuvieron higroscopicidades de entre 16.73 y 20.38 g/100 g base seca, que está por encima de los límites ideales de 5.13 a 9.38 g/100g (Salahi, *et al.*, 2017). Valores que hacen referencia a la higroscopicidad del café y sopa instantánea (Jaya y Das, 2004). El realizar polvo de frutas tiene como inconveniente el alto contenido de azúcares como glucosa, fructosa y sacarosa que influye en la absorción de agua debido a sus grupos hidroxilo. Los polvos con menor contenido de humedad poseen un mayor gradiente de humedad entre el ambiente y el producto, lo que genera un efecto higroscópico. Se pueden integrar aditivos que reducen la tendencia higroscópica como la trehalosa, beta-ciclodextrina y sorbitol que a su vez incrementan de manera beneficiosa la temperatura de transición de los polvos (Phanindrakumar, *et al.*, 2005).

5. Metodología

En la Figura No.23 se describe en un diagrama de flujo la metodología de la experimentación con mucílago de okra y polvo de melón.

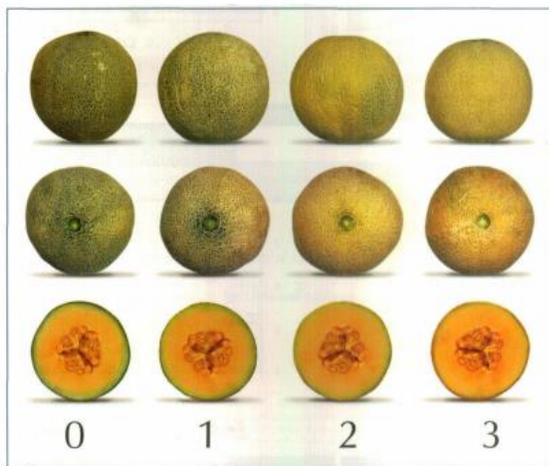
5.1 Materiales y reactivos

Melón maduro, okra madura, albúmina de huevo en polvo, acetona grado industrial, jabón desinfectante, lentejas de hidróxido de sodio, ácido clorhídrico (1%), hipoclorito de sodio (3 – 4.73%). Gaza para la filtración de mucílago, variedad de cristalería y equipos descritos por sección.

5.2 Selección de melón maduro

El color de la cáscara es un buen indicador de madurez, debe tener tonalidad amarillo claro, contextura rasposa con forma de red. Se excluyeron los frutos con hematomas, ligeras aberturas o contaminados por hongos. Se utilizaron cartillas de color para su selección, se escogieron melones con tonalidad de color #2 y #3 (véase Figura No.10). El tamaño de los melones debe ser uniforme por lo que se determinó el diámetro mayor y diámetro menor. Otros parámetros determinados para conocer la composición del fruto fue el peso total, peso de semillas, cáscara y pulpa.

Figura 10. Desarrollo del color del melón al madurar



Fuente: Peñuela, *et al.* (2004)

5.3 Extracción y evaluación de polvo de mucílago de okra

5.3.1 Selección de okra

Se evaluaron los índices de madurez de 50 muestras, los parámetros fueron: color, largo, ancho de okra, ancho de pericarpio y textura. La textura se evaluó utilizando un penetrómetro de frutas. Se buscó seleccionar la okra de grado dos de madurez de acuerdo con el Cuadro No.3, índice de madurez donde cuenta con mayor capacidad emulsificante y menor viscosidad (Aziah, *et al.*, 2014).

Cuadro 3. Indicadores del índice de madurez de la okra

Índice de madurez	Color	Textura
1	Verde claro	Suave
2	Verde claro	Dura
3	Verde amarillento o Verde pálido	Dura, la punta no se rompe fácilmente

Fuente: Aziah, *et al.* (2014)

5.3.2 Extracción de mucílago de okra

La okra fue desinfectada en una solución 100 ppm de cloro durante 10 minutos. Los frutos se cortaron longitudinalmente en tiras de 0.5 cm aproximadamente y se retiraron las semillas. Se sumergieron en agua a temperatura ambiente con 0.4% sal y 0.04% metabisulfito de sodio en una proporción peso/peso (p/p). Luego de 6 horas se calentó la solución durante 30 minutos a 38 – 40°C con constante agitación y se dejó reposar 6 horas más. Se separó la cáscara con gaza y se exprimió el filtrado. Al líquido resultante se le añadió aproximadamente un 70 % v/v de acetona para precipitar el mucílago. El mucílago se separó con una gaza y se colocó en bandejas de aluminio para secar durante 12 - 16 horas a 30°C.

Las siguientes propiedades de polvos fueron analizadas al polvo de mucílago de okra: densidad aparente, densidad comprimida, tamaño de partícula, relación de Hausner, humedad, actividad de agua y pH. Cada parámetro se midió en triplicado.

5.3.3 Rendimiento de mucílago de okra

Se utilizó el método de Farooq, *et al.* (2013) para determinar rendimiento de extracción por cada lote de mucílago.

Ecuación 1. Porcentaje de rendimiento.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100$$

5.3.4 Evaluación de viscosidad

Se utilizó el método de Aziah, *et al.* (2014). Consistió en hidratar una solución de 1% mucílago de okra durante 24 horas con agitación constante. Esta solución también fue utilizada para medir pH. Luego se midió la viscosidad utilizando el viscosímetro VISCO, con el beaker S, huso A1 a una velocidad de 250 rpm estandarizada a 20°C, la viscosidad se tomó luego de 2 minutos de medición. Se realizó en triplicado.

5.4 Elaboración de espuma de melón

El melón se desinfectó con jabón antibacterial durante 5 minutos. La cáscara de melón se retiró manualmente utilizando un cuchillo esterilizado. Se cortó en trozos y se retiraron las semillas. Utilizando una licuadora, el melón se obtuvo la pulpa de melón. Se colocó en frascos estériles de vidrio, se sellaron y sumergieron en agua hirviendo por 10 min (Sangamithra, 2016). Se refrigeraron

los frascos como máximo durante un día. A la pulpa se le realizó el color, acidez total (ácido cítrico), pH, contenido de sólidos solubles y humedad.

En un beaker de 150 mL se colocaron aproximadamente 10 g de una la solución constituida de 95% (p/v) pulpa de melón y 5% (p/v) agentes espumantes. Se estandarizaron los sólidos solubles a 11°Brix, el pH se mantuvo en el rango de 5 a 6. La albúmina de huevo fue sustituida en distintos porcentajes por mucílago de okra, como se describe en el Cuadro No.6. Con una batidora marca Black+Decker se batió a velocidad 4 durante distintos tiempos, con el fin de minimizar la densidad, maximizar la expansión y estabilidad.

5.5 Análisis de espuma

5.5.1 Densidad de espuma

Se determina con el peso de la espuma respecto al volumen ocupado de tal peso, se calculó con la Ecuación No.2. Se determinó el peso de la espuma colocada en el beaker de 150 mL. Para calcular el volumen se determinó el diámetro del beaker de 150 mL (5.02 ± 0.02 cm) y la altura final de la espuma de acuerdo con la Ecuación No. 3.

Ecuación 2. Densidad de espuma

$$\rho = \frac{\text{Masa de espuma (g)}}{\text{Volumen (mL)}}$$

Ecuación 3. Volumen de un cilindro

$$V_{cil} = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 h$$

Donde D es diámetro del beaker (cm), h es altura (cm).

5.5.2 Expansión de espuma

Se refiere al porcentaje de incremento del volumen en el líquido. Se calcula usando la diferencia de volumen antes y después de batir, utilizando la Ecuación No.4.

Ecuación 4. Expansión de espuma

$$FE = \frac{V_1 - V_0}{V_0} * 100$$

Donde el intervalo de tiempo V_0 es el volumen antes de batir, V_1 es el volumen luego de batir (mL)

5.5.3 Estabilidad de espuma

Se utilizó el método de Salahi, *et al.* (2014), consistió en colocar los 10 g de espuma utilizados para medir la densidad y expansión a un embudo Buchner con un diámetro inferior de 80 mm. Se colocó en una probeta graduada de 25 mL. La cantidad de líquido drenado se midió luego de una hora.

5.6 Experimentos de secado

La sustitución óptima de mucílago de okra y la muestra control con únicamente albúmina de huevo fueron analizadas con las siguientes condiciones. Se colocaron las muestras uniformemente en bandejas, en láminas con un grosor de 3 mm y área superficial definida. El secado se realizó en un secador por lotes. Las muestras se deshidrataron a 60 y 70°C a una velocidad de aire constante. Se

determinó el tiempo total de secado, el tiempo finalizó al momento que la muestra no contaba con una textura pegajosa en la costra. Para determinar la razón de secado, se llevó registro de humedad inicial, humedad final y registro de peso cada 5 min. La humedad se mide utilizando balanza de humedad y el peso utilizando una balanza calibrada de alta precisión. Los grosores y temperaturas se escogieron con referencia a otros estudios.

La humedad en base seca durante el secado se calculó utilizando la Ecuación No.5. (Kandsamy, *et al.*, 2012). La razón de secado se determinó a través de la ecuación No.6.

Ecuación 5. Contenido de humedad base seca

$$MC(\%) = \frac{\text{Peso de agua de la muestra}}{\text{Peso de la muestra seca}} = \frac{g H_2O}{g \text{ sólido seco}}$$

Ecuación 6. Razón de secado por cada periodo de tiempo

$$N = \frac{\text{Masa inicial} - \text{masa final}}{\text{área superficial} * \text{tiempo de secado}} = \frac{kg}{m^2h}$$

El producto se pulverizó con una licuadora, los polvos se almacenaron en bolsas de BOPP con capa de aluminio en un bote de aluminio dentro de un desecador. Se determinó el tiempo de secado en triplicado, se presentó el promedio. La razón de secado y humedad base seca se calculó en duplicado. Se realizó un ANOVA de dos factores para el tiempo de secado.

5.7 Análisis fisicoquímicos

5.7.1 Sólidos solubles

Este análisis se realizó para determinar las condiciones iniciales de la pulpa como método de estandarización de la prueba y determinar el efecto del agente espumante y condiciones de secado. Para ello se utilizó un refractómetro para grados Brix marca Hanna instruments modelo HI96801. Para reconstituir el polvo de melón se asumió una humedad de 82%. Se midió en triplicado, el valor promedio y desviación estándar se reportó.

5.7.2 Acidez total

Se utilizó el método de titulación de la AOAC 942.15 para determinar el contenido total de ácidos y estimar el contenido de ácido cítrico en el fruto fresco y en los polvos. Previó a la titulación con una solución 0.1N de hidróxido de sodio (NaOH) se filtró la pulpa con gaza para obtener el jugo. Se tomaron 5 mL de jugo de melón y se diluyeron en 15 mL de agua. Se midió en triplicado y el valor promedio y desviación estándar se reportó. Para determinar la acidez total del polvo de melón se asumió una humedad de 82% del melón fresco para reconstituir el polvo lo más cercano a la humedad de la pulpa. El contenido de sólidos para 5 mL de jugo se diluyó en 20 mL. Se calculó la acidez total a través de la ecuación No.7.

Ecuación 7. Porcentaje de acidez total

$$\text{Porcentaje de acidez (\%)} = \frac{N * V * 0.064}{v} * 100$$

Donde N indica la normalidad de la solución de NaOH, V es el volumen de la solución de NaOH utilizado para titular y v es el volumen de la muestra. Puede también ser dividido dentro del peso de la muestra. El valor 0.064 indica los miliequivalentes teóricos de ácido cítrico.

5.7.3 pH

Se utilizó un potenciómetro marca Hanna instruments modelo FC200B para determinar el pH del fruto fresco y los polvos. Para reconstituir el polvo de melón se asumió una humedad de 82%. Se mide en triplicado y el valor promedio y desviación estándar se reporta.

5.8 Análisis de propiedades de polvos

5.8.1 Color

Este análisis se realizó con el método de Sangamithra, *et al.* (2016). El color del melón antes y después de la deshidratación se mide utilizando el colorímetro MiniScan EX 4000. Las medidas se reportan en escalas de color CIELAB, donde L* corresponde la luminosidad (0 a 100), donde 0 corresponde a negro y 100 a blanco. El valor de a* corresponde a el color rojo (0 a +60) y verde (0 a -60). El valor de b* corresponde al color amarillo (0 a +60) y azul (0 a -60). Previo al análisis se calibró utilizando el patrón. Las medidas de color se realizaron en triplicado y se reportó el valor promedio y desviación estándar del parámetro L*, a*, b*, matiz y saturación. Se comparó el polvo de melón obtenido secado con espuma y sin espuma. La matiz y saturación se calcularon con la ecuación 8 y 9 respectivamente.

Ecuación 8. Matiz del color

$$\text{Matiz } (^{\circ}) = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

Ecuación 9. Saturación del color

$$\text{Saturación} = \sqrt{a^2 + b^2}$$

5.8.2 Contenido de humedad

Se determinó la humedad para conocer el contenido inicial de humedad de la espuma de melón y el contenido final del polvo. Se analizaron muestras de 1.1 g en una balanza de humedad para determinar el porcentaje de humedad. Este valor se realizó en duplicado, el valor promedio se reportó.

5.8.3 Actividad de agua

Utilizando el equipo Aqualab PRE marca Meter Food se determina la actividad de agua de las muestras del polvo de mucílago de okra.

5.8.4 Índice de solubilidad

Se utilizó el método de Cano-Chauca, *et al.* (2005). De cada muestra de polvo de melón se realizó una solución de 1% (p/v). La solución de 50 mL se licuó por 5 minutos y se transfirió a tubos de centrifugación. Se centrifugó por 1 hora y se tomaron 5 mL del sobrenadante. El sobrenadante se colocó en placas Petri y se secaron a 70°C por 8 horas. La cantidad de sólidos corresponde al total de sólidos solubles respecto a la cantidad de sólidos, calculada por la Ecuación No.10.

Ecuación 10. Índice de solubilidad

$$\text{Solubilidad } (\%) = \frac{\text{Masa de sobrenadante} * 10 (g)}{\text{Masa de sólido inicial} (g)} * 100$$

5.8.5 Tiempo de disolución

Se utilizó el método de Salahi, Mohebbi y Taghizadeh (2017). Se colocó en un tubo de ensayo 0.5 g de polvo y se disueltos en 10 mL de agua destilada. Se midió el tiempo total para reconstituir el sólido agitado en un vortex a aproximadamente 1500 rpm.

5.8.6 Tamaño de partícula

Se realizó un análisis de distribución de tamaños de partículas a través de un análisis de tamizaje, se anotó el peso inicial y final de los tamices luego de 20 minutos de agitación. El tamaño de la muestra fue de 10 g, se realizó un análisis por polvo.

5.8.7 Densidad de aparente y densidad comprimida

La densidad de polvo de melón se determinó con la ecuación No.2. La densidad de bulto (ρ_b) se determinó colocando un peso conocido del polvo (1 a 2 g) y se determina el volumen que ocupa en una probeta de 5 mL. La densidad comprimida (ρ_T) se determinó dejando caer el recipiente 180 veces a una altura de 3 mm, hasta obtener un volumen constante del polvo.

5.8.8 Relación de Hausner

Este es un valor asociado a la fluidez del polvo, se determinó por la ecuación No.11 y se interpretó con los valores descritos por Barbosa, *et al.* (2005).

Ecuación 11. Razón de Hausner. (Barbosa, *et al.*, 2005)

$$\text{Hausner ratio (HR)} = \frac{\rho_T}{\rho_b}$$

Los resultados de la relación de Hausner se interpretaron de acuerdo con el Cuadro No.4.

Cuadro 4. Relación de Hausner.

Propiedades de flujo	Índice de Hausner
Excelentes	1.00 - 1.11
Buenas	1.12 - 1.18
Correctas	1.19 - 1.25
Pasables	1.26 - 1.34
Pobres	1.35 - 1.45
Muy pobres	1.46 - 1.59
Extramadamente pobres	> 1.60

Fuente: Asokapandian, *et al.*, (2015).

5.8.9 Análisis estadístico

Para determinar si el tratamiento con mucílago de okra y temperatura de secado provocaron cambios significativos, se realizó ANOVA de dos factores con un 95% de confianza y cuando lo requirió análisis de Tukey HSD para cada propiedad. Para ello se utilizaron las herramientas Rstudio y Excel utilizando el paquete Real statistics.

5.9 Diseño experimental de la evaluación de espumas

5.9.1 Evaluación del efecto en la espuma de la sustitución de albúmina de huevo por mucílago de okra

Se evaluaron las propiedades espumantes de espumas sustituidas con diferentes porcentajes de mucílago de okra a través de determinar densidad y expansión de espuma. Las muestras fueron de 20g, consistieron en 95% (p/v) agua y el porcentaje correspondiente del agente espumante (véase Cuadro No.5). Se trabajó en el pH natural del melón que varió en el rango de 5 a 6, cuya diferencia no afecta significativamente en la capacidad espumante de la albúmina de huevo (Altahi, 2013). El pH de 5 resultaba de la acidificación del medio probablemente por crecimiento microbiano fomentado por el contenido de proteína y azúcares. Cada prueba se realizó en triplicado, se presentó el promedio en un cuadro y gráfico. Se evaluó el efecto de la concentración del mucílago de okra a través de un análisis de varianza (ANOVA) de un factor y análisis de Tukey HSD.

Cuadro 5. Diseño experimental para la espuma a base de agua

Factor	Tratamiento	Niveles				
A	Porcentaje de sustitución de la albúmina de huevo (%)	0	20	30	40	50

5.9.2 Evaluación del efecto en la espuma de melón de la sustitución de albúmina de huevo por mucílago de okra

Se evaluaron dos factores: distintos porcentajes de sustitución y tiempos de batido. Se evaluará el efecto directo en la densidad y estabilidad de la espuma, buscando obtener una densidad mínima y máxima estabilidad para cada sustitución. El Cuadro No.6 muestra los factores y tratamientos a evaluar. El diseño experimental es multifactorial, por lo que todas las posibles combinaciones serán evaluadas. Las pruebas se realizan en triplicado para el estudio de densidad, expansión y estabilidad, se presenta el promedio.

Para determinar la significancia de los porcentajes de sustitución, tiempos de batido en la densidad, expansión y estabilidad de la espuma de melón se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores con un nivel de confianza de 95% y análisis de Tukey HSD.

Cuadro 6. Diseño experimental para la espuma de melón.

Factor	Tratamiento	Nivel		
A	Porcentaje de EW sustitución con MO (%)	0	30	45
B	Tiempo de batido (min)	5	8	12

Nota: *MO: Mucílago de Okra *EW: albúmina de huevo

6. Discusión y resultados

6.1 Propiedades físicas de la okra y rendimiento del mucílago de okra

Uno de los principales objetivos del presente fue poder sustituir parcialmente el agente espumante con mucílago de okra clasificada como descarte para aprovechar sus atributos en el desarrollo de polvo de melón. En el proceso de selección de okra para exportación uno de los principales factores de rechazo es la madurez, se comercializa cuando es inmadura o de índice 1. Cuando el largo y textura superan los límites definidos o el color es pálido, la okra se rechaza. Lo ideal es utilizar okra de grado intermedio de madurez o índice 2, pues ofrece una mayor concentración de mucílago (Agbenorhevi *et al.*, 2020). Cuya viscosidad es menor y podría favorecer en la formación de espuma (Aziah, *et al.*, 2014).

Cuadro 7. Características de la okra fresca

Parámetro	Valores promedio*
Variedad	Clemson Spineless
Peso de okra (g)	26.11 ± 5.53
Largo (cm)	14.3 ± 1.4
Diámetro (cm)	2.2 ± 0.2
Ancho de pericarpio (mm)	1.3 ± 0.3
Textura (N)	47.5 ± 7.4
Color	Verde oscuro

Nota: *Promedio ± desviación estándar. Resultado de 50 muestras, véase Cuadro No. 25 en anexos.

Para la okra Clemson Spineless con longitudes de 10 – 12 cm la textura corresponde a 56.0 ± 6.1 N y el peso debe ser cercano a los 20 g (Olivera, *et al.*, 2012). Las dimensiones, textura y peso de la okra en este estudio se presentan en el Cuadro No.7. Se esperaba una textura más rígida para la longitud de la okra manejada. Esta diferencia no se atribuye a la senescencia del fruto pues el color no era pálido. La textura de la okra se debe al ancho del pericarpio y desarrollo de fibras en él (Barnwal, *et al.*, 2017). Una menor dureza indica un menor ancho de pericarpio y/o pocas fibras desarrolladas.

El ancho del pericarpio fue de 1.3 ± 0.3 mm, la okra Kashi Pragati alcanza esta anchura al ser cosechada en el día 12. De acuerdo con la clasificación de Agbenorhevi *et al.* (2020), cosechar la okra después del día 11 y antes del día 14 hace que clasifique entre el índice 1 e índice 2 de madurez. Cabe resaltar, que estas inferencias respecto al día de cosecha no son completamente precisas al utilizar como referencia otra variedad de okra. La posibilidad de que no se encuentre en el índice 2 no afecta en los objetivos del estudio pues se manejó okra de descarte. A su vez, si bien hay una mayor producción de mucílago en el índice 2 de madurez, la diferencia en rendimiento no es significativa respecto al índice 1 (Agbenorhevi *et al.*, 2020).

Para extraer el mucílago de okra se realizó una serie de pruebas combinando las siguientes variables: tiempo de hidratación, pH y exposición a temperaturas inferiores a 60°C. Se trabajó a pH

neutral, pues en pH ácido (pH 2) se observó una pérdida en la viscosidad. El mucílago de okra tiene un comportamiento que responde al pH debido a una posible disolución del polisacárido y disociación/asociación de los grupos carboxilo (Alvarenga, Mottin y Ayres, 2016). Cualquier factor que afecte la forma molecular, composición y comportamiento cinético afectará en las fuerzas de atracción entre moléculas (Nnabuk, *et al.*, 2012). En consecuencia, modificará la viscosidad en este caso disminuyéndola.

La clave para aumentar el rendimiento de aproximadamente 0.35% a 1.41%, fue la exposición de la solución a 38 – 40°C durante 30 minutos para luego dejar reposar seis horas. El calor permite la degradación del material celular resultando en una mayor difusión del polisacárido al medio (Cahyana, Kam y Ellyn, 2017). El tiempo de hidratación en total fue de 12 horas y la proporción de agua doblaba en peso el contenido de okra. Entre mayor es el tiempo de hidratación, mayor la degradación del material que apoyado por el uso de calor aumentó el rendimiento (Cahyana, Kam y Ellyn, 2017).

El rendimiento final del mucílago de la cáscara de okra fue de 1.41% ± 0.12%. Metodologías similares registran rendimientos de 0.37% hasta 11.44%. (Cahyana, Kam y Ellyn, 2017; Farooq, *et al.*, 2013). Es decir, el rendimiento de la okra no es algo que pueda predecirse o ser comparado con la literatura fácilmente. Puesto que depende la variedad de okra, sección utilizada, tiempo de extracción, estado físico (polvo, fruto fresco), proporción de agua, velocidad de mezclado, tiempo de exposición al calor, temperatura de extracción y ciclos de extracción (Alvarenga, Mottin y Ayres, 2016; Heiwall, *et al.*, 2015). En este caso, la cáscara luego de uno o dos usos no se puede volver a utilizar debido a que entra en etapa de descomposición. Sin embargo, las semillas de la okra pueden utilizarse para el desarrollo de alimentos terapéuticos (Palomo, 2021).

6.2 Características del polvo de mucílago de okra

Conocer las características del polvo de mucílago de okra fue crucial para determinar las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y funcionales que este polvo daría a cualquier matriz a base de agua. Además, se analizaron algunas de sus propiedades de polvos para determinar su facilidad de manejo en la industria. A continuación, se interpreta cada propiedad de acuerdo con los resultados descritos en el Cuadro No.8.

Cuadro 8. Propiedades de polvo y fisicoquímicas del mucílago de okra

Propiedad	Resultados*	Chatterje y Mazumder, 2019	Otros
Densidad aparente (g/mL)	0.60 ± 0.02	0.632	0.60 ^a / 0.69 ^c
Densidad comprimida (g/mL)	0.79 ± 0.02	0.705	--
Relación de Hausner**	1.33, fluidez pasable	1.12, buena fluidez	1.14 ^d , buena fluidez
pH	5.65 ± 0.23	5.85	6.4 ^c
Viscosidad (cP)	36.4 ± 1.0	120	521 ^b
Humedad (%) p/p	8.50 ± 2.89	14.96	--
Actividad de agua (A _w)	0.462 ± 0.004	--	--
Color	Café	Café claro	--

Fuente: ^a (Fekadu *et al.*, 2018) ^b (Aziah *et al.*, 2014) ^c (Farooq, *et al.*, 2009) ^d (Nagpal, *et al.*, 2017) *Promedio ± desviación estándar **parámetros interpretados con Cuadro No. 4.

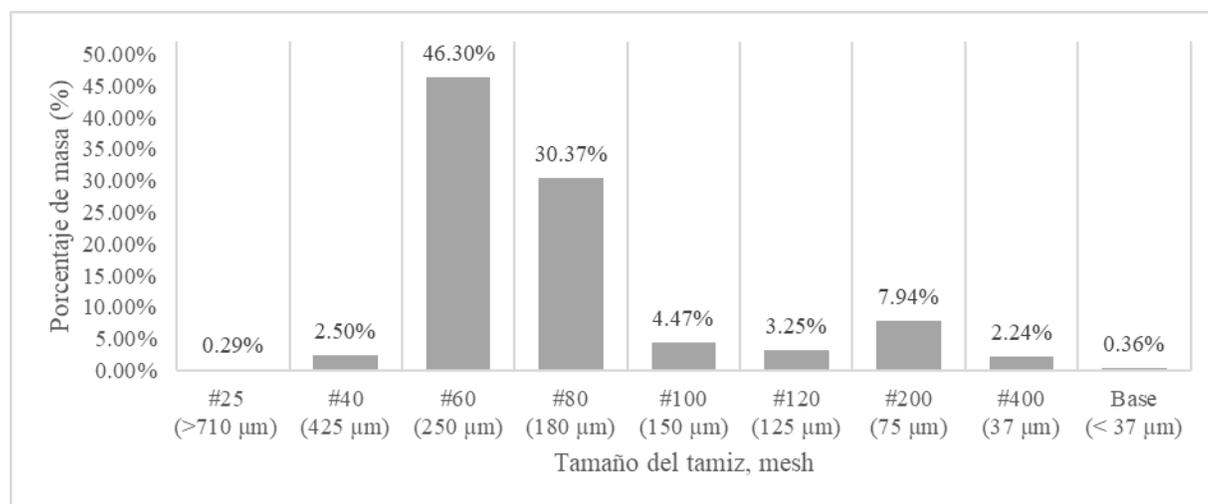
Propiedades de sólidos

La densidad aparente del mucílago de okra fue parecida a la densidad reportada por la literatura (véase Cuadro No.8). También fue similar a la de otros agentes auxiliares para espumas como el polvo de gelatina y celulosa microcristalina cuya densidad aparente es de 0.68 y 0.61g/mL respectivamente (Barbosa, *et al.*, 2005).

La densidad comprimida aumenta de forma considerable respecto a la densidad aparente. Esta diferencia da como resultado un mayor valor en la relación de Hausner. La relación indicó que el polvo posee una fluidez “pasable” o “posible”. Un resultado positivo, es posible que en el transporte y procesamiento requiera en menor medida de accesorios adicionales que fomenten el flujo. No obstante, otros autores indican que su fluidez es categorizada como “buena”. Una fluidez menos favorable se atribuye a una mayor interacción entre partículas denominado cohesión (Clayton, 2019).

Aunado a la humedad, otro de los factores que más afecta la fluidez es el tamaño de partícula. En este caso, la cohesión no se debe principalmente a la humedad, el contenido de agua es menor en el mucílago de este estudio comparado al de la literatura (véase Cuadro No.8). A medida que la partícula es menor a 200 μm la fluidez empeora debido a que incrementa el área de superficie de contacto. Haciendo posible que existan mayores fuerzas cohesivas y de fricción (Fitzpatrick, 2005). De acuerdo con la Figura No.11 el contenido de polvos menores a 200 μm es de aproximadamente a 48.63% (#80 a Base), los polvos más finos representan un 18.26% (#100 a Base). Es posible que estos hayan tenido influencia en la fluidez del polvo y sean la razón de una mayor relación de Hausner.

Figura 11. Distribución másica del tamaño de partícula del polvo de mucílago de okra



Nota: los datos específicos se describen en el Cuadro No. 30

Propiedades fisicoquímicas, funcionales y color

El riesgo microbiológico de que el pH sea superior a 4.6, es decir no ácido, es bajo debido a que la actividad de agua está dentro del rango de los alimentos de alta seguridad (Badui, 2016). Aunado al método de almacenamiento, ambos disminuyeron la probabilidad de que levaduras y hongos crecieran en el polvo de mucílago de okra. La coloración del mucílago de okra es de café oscuro. Al estar en solución el tono café permanece, esto podría afectar en el color de cualquier alimento en el que se utilice. Puede estar relacionado con reacciones internas de Maillard, debido a

las proteínas y polisacáridos del sistema (Temenouga, *et al.*, 2016). O bien, con el solvente de extracción, en el caso de la goma *B. costatum* utilizar etanol resultó en una tonalidad clara (Apinega, *et al.*, 2017).

Se evaluó la viscosidad de una solución al 1% de mucílago de okra, esta fue de 36.4 ± 1.0 cP que es inferior comparada al de otra literatura. Es menor incluso con mucílago en el mismo grado de madurez cuya viscosidad fue de 521 cP (Aziah, *et al.*, 2015). La viscosidad del mucílago de okra depende del grado de acetilación de los residuos ramnosil, presencia de carboxilos metilados y acetilados y sus subsecuentes interacciones macromoleculares, que pueden verse afectados por el método de extracción (Sengkhampan, *et al.*, 2009).

La viscosidad disminuye en cualquier grado de madurez luego de calentar el mucílago de 20 a 60°C (Aziah, *et al.*, 2014). A pesar de que las temperaturas de este estudio se manejaron en el rango de 38 a 40°C y no superaban el punto de transición de mucílago que es de 60°C (Zaharuddin, Ibrahim, Kandivar, 2014). Posiblemente la estructura de los polisacáridos fue modificada irreversiblemente al ser expuesta al calor tanto en la extracción como en el secado, ocasionando deterioros en sus propiedades funcionales. El tiempo de secado fue seguramente el factor que más impactó. El mucílago de okra es de naturaleza higroscópica, no haber notado esto con anterioridad ocasionó una mayor exposición al calor (Farooq, *et al.*, 2013). El material debe ser almacenado inmediatamente luego de terminar el ciclo de secado para evitar que se hidrate nuevamente.

Otros factores que pueden verse implicados en la diferencia de viscosidad es la variedad de okra, método de extracción y pH (Kpodo, *et al.*, 2017; Assi, *et al.*, 2017). La viscosidad aumenta conforme se acerca al rango de pH neutro que es de 6 a 8 aproximadamente (Assi, *et al.*, 2017). Evaluar la viscosidad en este rango es lo más recomendable para compararlo con otros estudios.

Costo del polvo de mucílago de okra

En el Cuadro No.9 se presenta el costo de la producción de mucílago de okra, donde se compara el costo del método manejado de producción y el costo al reutilizar el solvente. Como se observa es necesario reciclar la acetona para que la producción de mucílago sea más económica que la producción de albúmina de huevo en polvo, cuyo costo es de Q90.35/kg (USDA, 2021).

Cuadro 9. Costo de producción del mucílago de okra

Clasificación de costo	Costo (Q/kg mucilago)	Costo (solvente reciclado) (Q/kg mucilago)
Insumos	Q718.15	Q26.01
Electricidad	Q4.80	Q4.80
Total	Q722.95	Q30.81

Fuente: ENERGUATE, 2020; Echemi, 2021; S&P Global, 2018; Tridge, 2021; Acuerdo No.COM-036-03 (2003).

Nota: Cálculos desglosados en anexo Cuadro No.31 a 33 y sección 10.3 en Anéxos.

Por ello se propone el método utilizado por Nemeth, Lang y Hegely (2020) para la recuperación del 98.2% de la acetona en solución a través de una columna de destilación de un

solo lote. Esta requiere el uso de al menos 60% acetona, por ello el porcentaje de acetona es superior al método de producción tradicional. De esta forma la sustitución de albúmina de huevo por mucílago de okra en la producción de polvo de melón podrá aportar beneficios comerciales. En el Cuadro No.31 a 33 en anexos se describe el costo de la materia prima por método y costo de energía. Los cálculos del costo de la reutilización del costo de acetona se describen en el Cálculo No.1 en anexos. El cálculo del costo de la energía eléctrica se describe en el Cálculo No.2 en anexos (véase sección 10.3).

El aditivo, mucílago de okra en polvo, es tres veces más económico que la albúmina de huevo. La sustitución parcial de la albúmina de huevo por mucílago de okra en el desarrollo de polvos frutales resultaría en la disminución del costo final.

6.3 Efecto del mucílago de okra en la sustitución de albúmina de huevo para elaboración de espuma

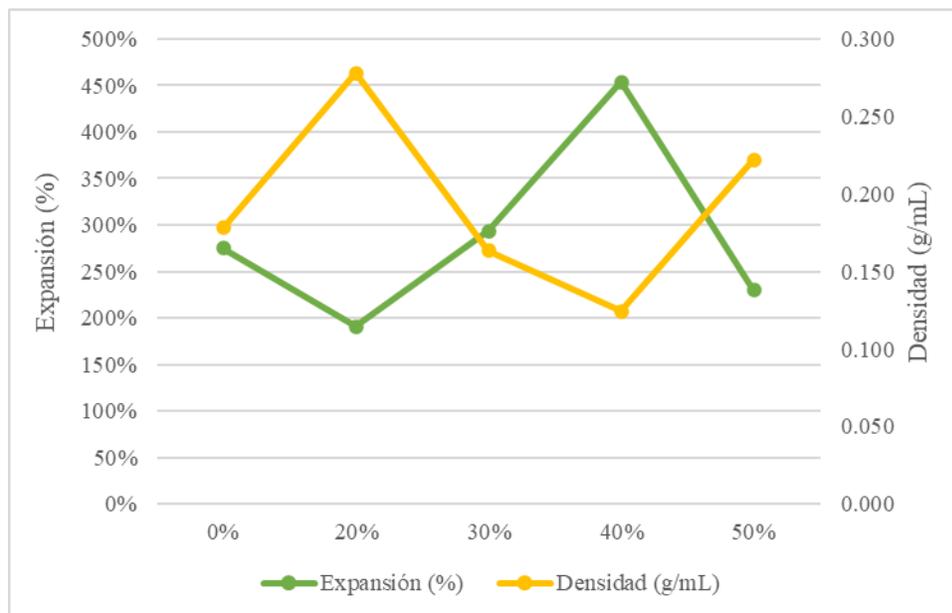
Para evaluar la viabilidad del mucílago de okra de rechazo como agente espumante se sustituyó en distintos porcentajes la albúmina de huevo a base agua. El rango de porcentajes de sustitución se definió en función de la condición que otorgó mejores propiedades. El efecto de la sustitución de mucílago de okra se describe en el Cuadro No.10.

Cuadro 10. Densidad y expansión de la espuma base agua

Porcentaje de sustitución del espumante	Densidad espuma (g/mL)	Expansión (%)
0%	0.178	275%
20%	0.278	191%
30%	0.163	294%
40%	0.125	454%
50%	0.222	230%

El ANOVA mostró que la inclusión de mucílago de okra tiene un efecto significativo (valor $- p = 0.000$) en la densidad y expansión de la espuma (ver Cuadro No.35 y 37, en anexos). De acuerdo con la Figura No.12 hay una tendencia a la disminución de la densidad a partir de la sustitución del 20% del agente espumante. La densidad mínima de 0.125 g/mL se obtuvo al sustituir un 40%, que indica una mayor cantidad de aire en la estructura. A partir de este punto se observa de nuevo un aumento en la densidad. Es decir, la concentración de mucílago en la espuma promueve la reducción de la densidad, no obstante, existe un límite de sustitución. Este efecto se mostró en la espuma con aislado de suero de leche y λ -carragenina. El incremento en la concentración de carragenina aumentó el porcentaje de aireado, pero decreció a concentraciones superiores de 0.15% (Zhengshan, 2013).

Figura 12. Expansión y densidad promedio de la espuma respecto al porcentaje de sustitución de albúmina de huevo con mucílago de okra



Ambos densidad y expansión representan la capacidad espumante de la solución por lo que su comportamiento es similar, pero de manera inversa (véase la Figura No.12). Las menores densidades observadas en la sustitución del 30% y 40% equivalen a un mayor volumen de espuma, por ende, mayor expansión (Sangamithra, 2016). El rango de expansión iba de 191% a 454%, la sustitución máxima se obtuvo al sustituir un 40% del agente espumante principal. Concentraciones superiores disminuyen significativamente la capacidad espumante, posiblemente por el incremento de la viscosidad. La alta viscosidad restringió la movilidad de los complejos y limitó incorporación de aire debido a la resistencia del fluido a la fuerza del batido (Żmudziński, *et al.*, 2014; Dabestani y Yeganehzad, 2018).

Los estudios que utilizan goma xantana y albúmina de huevo generalmente trabajan con el hidrocoloide a concentraciones menores de 0.9%. Posiblemente la capacidad de sustituir hasta un 50% del agente espumante, sin ejercer un efecto significativo en las propiedades originales de la espuma, se deba a la poca viscosidad que aportó el mucílago de okra. (Ptaszek, *et al.*, 2014).

Se determinó que el porcentaje ideal de sustitución en una espuma a base de agua fue de 40%, que ocasionó una disminución significativa en la densidad y aumento significativo en la expansión (ver Cuadro No. 36 y 38, en anexos). Es decir, permite la mayor captación de aire y a su vez genera una estructura de mayor volumen. El efecto positivo del mucílago de okra en las propiedades espumantes se puede explicar por la interacción del polisacárido con las proteínas adsorbidas en la superficie de la película. Es posible que el complejo polisacárido-proteína haya incrementado la elasticidad de la película, permitiendo la formación de una espuma con buenas propiedades (Zhengshan, 2013).

El agente espumante en su mayoría es la albúmina de huevo y no mucílago de okra. En estudios preliminares no se observó la formación de espuma sin el uso de la albúmina de huevo. Indica que el mucílago de okra actuó como estabilizante de las proteínas presentes en la albúmina de huevo y no como espumante. No obstante, previo al proceso de extracción fue posible la formación espuma y la literatura indica que cuenta con propiedades espumantes (Fekadu *et al.*,

2015). Es posible que la capacidad espumante fue afectada por los procesos térmicos durante la extracción y secado.

Por otro lado, la sustitución de un 20% ocasiona un incremento significativo de la densidad y disminución significativa de la expansión, un resultado no esperado. Este aumento súbito en la densidad se puede deber a un menor volumen de expansión. Tanto la sustitución del 20% como del 50% del agente espumante no presentan una diferencia significativa en la expansión respecto a la espuma sin mucílago. Indicando que no son porcentajes de sustitución adecuados para optimizar la espuma.

6.4 Propiedades físicas y bioquímicas del melón

En el Cuadro No. 11 se describen las propiedades físicas del melón procesado, el enfoque era escoger melón en el grado de madurez adecuado y sin daños. En su mayoría los melones físicamente no cumplían con los requisitos del FDA por la presencia de quemaduras de sol o ligeras cicatrices e la cáscara (Portillo, 2019). Por otro lado, su cáscara era uniforme y cumplía con los parámetros esperados en la pulpa como se detallará en la siguiente sección. En general el diámetro mayor como menor contaban con una desviación estándar mínima de 1 cm, lo que indica que se escogieron productos con formas homogéneas. Se escogió el color de la cáscara según la Figura No.10, tanto el color de la pulpa y cáscara indicaban estar maduros (color #2 y #3). El melón maduro generalmente cuenta con el mejor perfil de aromas y sabores, características se busca preservar (Beaulieu, 2006).

Cuadro 11. Propiedades físicas del melón

Característica	Valor promedio*
Diámetro mayor (cm)	53.00 ± 1.00
Diámetro menor (cm)	48.85 ± 1.03
Peso promedio (g)	2031.55 ± 123.88
Proporción de semillas (%) (p/p)	4.7% ± 1.9%
Proporción de cáscara (%) (p/p)	31.9% ± 4.4%
Proporción de pulpa (%) (p/p)	62.8% ± 3.3%
Color cáscara	Verde claro
Color de pulpa	Anaranjado

*Promedio ± desviación estándar

El peso promedio del melón fue de 2031.55 ± 123.88 g, al ser la proporción de pulpa de 62.8 ± 3.3% cada melón contiene aproximadamente 1270 g de pulpa útiles para la producción de polvo. El resto del fruto, representado por las semillas y cáscara, se convierte en merma si no se le da otro uso. El productor de polvo de melón tendrá que considerar esto en su producción, podrá obtener ganancias del 62.8% de su materia prima. Tanto las semillas como cáscara pueden utilizarse para otro tipo de desarrollo como fuente de nutrientes en el campo de biotecnología o ingrediente funcional (Moura, *et al.*, 2019).

Propiedades bioquímicas del melón

En el Cuadro No.12 se presentan los parámetros bioquímicos del melón fresco. Los sólidos solubles del melón manejado estaban en el rango de 9 a 12 °Brix, sinónimo de melones en buenas condiciones para ser comercializados (Vargas *et al.*, 2008). La acidez en combinación con el azúcar y los compuestos volátiles, aportan un sabor más complejo al melón. Naturalmente el contenido de ácido en el melón es bajo, compuesto por ácido cítrico en un 0.2% y un menor contenido de ácido málico (Burger, *et al.*, 2003).

Se observa que el melón posee un contenido de ácidos menor y un pH cercano a la neutralidad. Un pH de 6.3 es normal debido al proceso de maduración. Por ejemplo, el ácido málico es utilizado para otros procesos metabólicos lo que disminuye la acidez total e incrementa el pH (Cohen, *et al.*, 2014). El contenido de ácido cítrico generalmente incrementa conforme se da el proceso de madurez (Burger, *et al.*, 2003).

Como se observa en el Cuadro No. 12, es posible que este 0.06% consista principalmente de ácido cítrico y una mínima parte de ácido málico. La diferencia en el contenido de ácidos se puede deber al tratamiento térmico aplicado previo a su análisis, está demostrado que la pasteurización disminuye la cantidad de ácidos orgánicos (Igual *et al.*, 2010). Así como el manejo del cultivo (tipo de suelo, tratamientos) y otros factores ambientales que también determinan el porcentaje de ácidos en el fruto (Álvarez, *et al.*, 2013).

Cuadro 12. Propiedades bioquímicas del melón fresco

Característica	Valor promedio*
Sólidos solubles (°Brix)	10.75 ± 0.51
Humedad (%) (p/p)	77.7% ± 6.1%
pH	6.74 ± 0.30
Acidez (%) (g ácido cítrico/mL)	0.06% ± 0.01%

*Promedio ± desviación estándar

6.5 Espuma de pulpa de melón

Evaluada la viabilidad de sustituir parcialmente la albúmina de huevo por mucílago de okra, se aplicó en el desarrollo de polvo de melón. Se buscó obtener las mejores propiedades de espuma de melón para aumentar las posibilidades de un mejor secado. De acuerdo con el rango evaluado en la espuma a partir de agua se escogieron dos porcentajes de sustitución (30% y 45%) que posiblemente ofrecerían buenas propiedades espumantes y además una ventaja competitiva. Al utilizar melón, cuya viscosidad es mayor a la del agua, se decidió reducir el límite de sustitución a 45%. Como se describió en la sección 6.5.1 y 6.5.2, es evidente que el efecto de la interacción de la pulpa de melón y la viscosidad del melón reducen la capacidad espumante. La información detallada de los valores de densidad, expansión y estabilidad se presentan en el Cuadro No. 13.

Cuadro 13. Densidad, expansión y estabilidad de la espuma de melón

Porcentaje de sustitución (%)	Tiempo de batido (min)	Densidad (g/mL)	Expansión (%)	Estabilidad (mL)
0%	5	0.407	93%	3.20
	8	0.281	187%	2.83
	12	0.252	192%	2.80
30%	5	0.250	200%	0
	8	0.236	265%	0
	12	0.216	226%	0
45%	5	0.321	101%	0
	8	0.261	167%	0
	12	0.360	179%	0

6.5.1 Efecto del mucílago de okra y tiempo de batido en la densidad de la espuma

Como se mencionó en la Sección 6.3, la densidad disminuye en función de la cantidad de aire que ingresa a su estructura y permanece en forma de burbujas. Se buscó la menor densidad, pues un mayor contenido de burbujas es sinónimo de un gran número de interfases, necesarias para una mejor transferencia molecular que asista en el secado (Cantant, *et al.*, 2013). El ANOVA mostro que el tiempo de batido, porcentaje de sustitución y su interacción como factores, afectan significativamente la densidad de la espuma de melón (véase Cuadro No.14). La densidad promedio varió en el rango de 0.216 a 0.407 g/mL, la espuma sin mucílago de okra batida por 5 minutos fue la que presentó la mayor densidad.

Cuadro 14. Análisis de variancia de la densidad de la espuma de melón

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad
A	2	0.0191	33.161	9.203E-07
B	2	0.0108	18.739	3.984E-05
A*B	4	0.0090	15.563	1.147E-05
Dentro del grupo	18	0.0006		
Total	26			

Nota: A = Porcentaje de sustitución; B= Tiempo de batido; * Significancia al nivel del 5%

El comportamiento de la densidad de la espuma de melón respecto al tiempo de batido y porcentaje de sustitución se muestran a través de un gráfico 3-D en la Figura No.13. La sustitución de un 30% de la albúmina de huevo por mucílago de okra resultó en una disminución significativa de la densidad (valor $-p = 0.000$) (véase Cuadro No.41, en anexos). Se refleja principalmente en la sección celeste de la gráfica cuya densidad varía en el rango de 0.216 a 0.250 g/mL. Fue el único porcentaje de sustitución que, sin importar el tiempo de batido, la densidad disminuyó

significativamente. Esto indica que al sustituir un 30% de la albúmina de huevo por mucílago de okra, incrementa la rapidez de adsorción del complejo proteína – polisacárido a la superficie (Rodríguez y Pilosof, 2011).

Si bien el mucílago de okra no genera espuma por sí solo, posiblemente permite la reducción de la tensión superficial de las películas. Atribuido a los grupos funcionales en su estructura (acetil, metil y ácido felúrico) y glicoproteínas que fomentaron su actividad de superficie (Temenouga, *et al.*, 2016; Leroux, *et al.*, 2003; Alba, *et al.*, 2013). Similar a la albúmina de suero bovino (BSA) y mucílago de okra, la sinergia con la albúmina de huevo posiblemente generó una mayor reducción de la tensión superficial por la naturaleza anfifílica de la proteína (Temenouga, *et al.*, 2016). Además, el complejo probablemente mejoró de la elasticidad de la película, incrementando la capacidad espumante (Rodríguez y Pilosof, 2011).

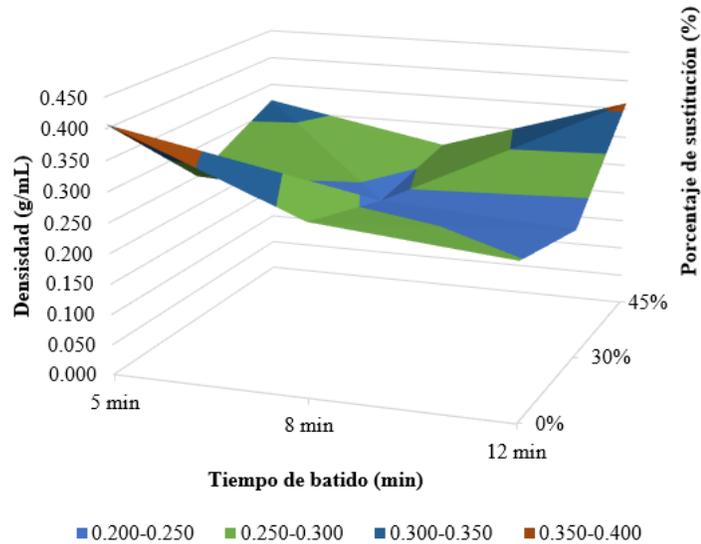
Otros factores que pudieron verse implicados en la mejor capacidad espumante como la naturaleza del polvo de mucílago de okra. Se mencionaba anteriormente una propiedad importante que es la baja viscosidad y también la posibilidad de una reacción de Maillard en el polvo. La degradación del polisacárido por la reacción de Maillard durante el secado e interacción con las proteínas de su estructura generan una menor tensión superficial, que pudo apoyar en mejorar la espuma (Temenouga, *et al.*, 2016). La goma de semilla de berro, así como el mucílago de okra, mostró efectos positivos en la densidad de la espuma de hongos blancos atribuido a la baja viscosidad (Pasban, *et al.*, 2014).

También se observa en la Figura No.13 que el incremento en la concentración de mucílago (sustitución del 45%) produce efectos adversos en la densidad de la espuma. Incrementar la concentración de mucílago incrementa la composición y en consecuencia aumenta la viscosidad (Nnabuk, *et al.*, 2012; Assi, *et al.*, 2017). Esto disminuyó la incorporación del aire, afectando negativamente en el desdoblamiento y rapidez de difusión de la proteína (Lau y Dickinson, 2005). No resultó significativa la diferencia de sustituir un 45% y 0%, lo que indica que es posible trabajar a estas condiciones, pero no promete una mejora en el secado o en las propiedades de polvo (ver Cuadro No. 41, en anexos).

Batir durante 5 minutos mostró ser menos beneficioso que durante 8 o 12 minutos cuyo efecto en la densidad fue similar (valor – $p > 0.050$) (véase Cuadro No. 41, en anexos). Por ello se observan mayores densidades en el rango de 0.250 a 0.407 g/mL (véase Figura No.13). Es posible que no haya generado los cambios completos de la estructura conformacional de la albúmina de huevo, afectando en la adsorción de toda la población de proteínas a la interfaz (Altahi, 2013). Por ende, la capacidad de formar burbujas fue menor y aumentó la densidad. Aun así, clasifican dentro del rango de densidad aceptado para el secado por espuma de 0.2 a 0.6 g/mL (Ling y Sulaiman, 2018).

Por el contrario, al batir durante 8 y 12 minutos la densidad disminuyó. Sugiriendo que existían suficientes agentes surfactantes y estabilizantes en la fase continua, que auxiliaron en la formación de nuevas áreas interfaciales donde se incorpora más aire en ambos tiempos de batido (Pernell, *et al.*, 2002).

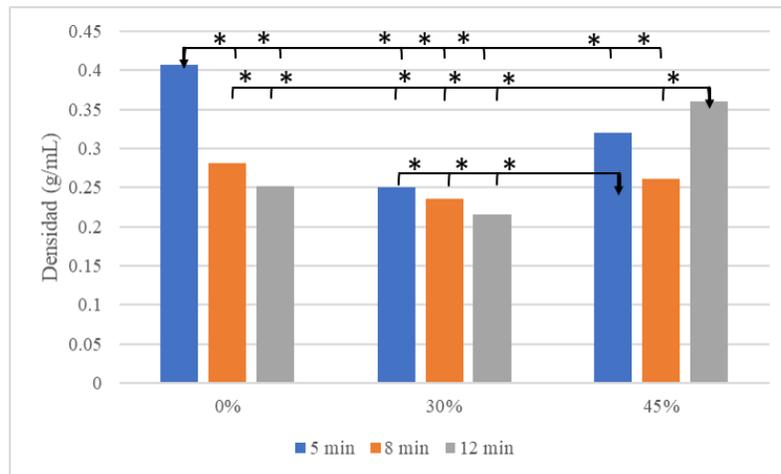
Figura 13. Gráfico 3-D sobre el efecto del mucílago de okra y tiempo de batido en la densidad de la espuma de melón



Entrando en detalle con las interacciones del factor porcentaje de sustitución y tiempo de batido se observa en la Figura No.14 que no hay diferencia significativa en trabajar con 0%:5min y 45%:12 min. Ambas presentaron los valores más altos de densidad, por ello son significativamente diferentes del resto de condiciones. No es adecuado sustituir un 45% del agente espumante y batir durante 12 minutos. La alta viscosidad y largo tiempo de batido posiblemente ocasionó la agregación excesiva de las proteínas, generando agregados insolubles que limitaron la capacidad de retención de agua inestabilizando la espuma (Altalhi, 2013).

Por otro lado, no hay diferencia significativa entre las densidades de 0%:8min, 0%:12min, 30%:5min, 30%:8min, 30%:12min, 45%:8min. Cualquiera de las previas sustituciones podría ser utilizada para mejorar la espuma de melón pues ofrecen una mejor capacidad para incorporar aire en la estructura. Para más información sobre las interacciones véase Cuadro No.42 en anexos.

Figura 14. Efecto del mucílago de okra y tiempo de batido en la densidad de la espuma de melón



Nota: * = significativo con un nivel de 95% confianza; flecha (↓) = indica significancia respecto a la columna señalada

6.5.2 Efecto del mucílago de okra y tiempo de batido en la expansión de la espuma

El efecto del mucílago de okra y tiempo de batido en la expansión de la espuma de melón se presenta en la Figura No. 15. El ANOVA muestra que el porcentaje de sustitución de la albúmina de huevo por mucílago de okra y tiempo de batido influenciaron significativamente en la expansión (véase Cuadro No. 15).

En el Cuadro No.13 se observa que la expansión varió en el rango de 93 a 265%, superior al presentado en otra espuma de melón que iba de 10 a 90% (Sangamithra, *et al.*, 2015). La diferencia en la variación reside en la cantidad de aire incorporada a la matriz. La cuál depende de las variables de cada estudio como la densidad objetivo, concentración de pulpa, sólidos solubles, forma del batidor, velocidad de batido, tiempo máximo de batido, pH de la solución y otros factores que influyen en la actividad de superficie (Kandasamy, *et al.*, 2012; Bovšková y Míková, 2011; Alahi, 2013)

Cuadro 15. Análisis de variancia de la expansión de la espuma de melón

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>
A	2	1.791	13.081	0.000
B	2	1.512	11.039	0.001
A*B	4	0.124	0.905	0.482
Dentro del grupo	18	0.137		
Total	26			

Nota: A = Porcentaje de sustitución; B= Tiempo de batido; * Significancia al nivel del 5%

En la Figura No.15 se aprecia el incremento significativo en la expansión en el batido de 8 (valor – p = 0.001) y 12 minutos (valor – p = 0.003) respecto al batido de 5 minutos. Patrón observado en la espuma de papaya con albúmina de huevo (10%) y goma xantana (0.5%), donde la expansión aumentó de $135.34 \pm 5.84\%$ a $263.64 \pm 11.68\%$ al incrementar el tiempo de batido de 5 a 10 minutos (Abd El-Salam, Mohammed y Said, 2020).

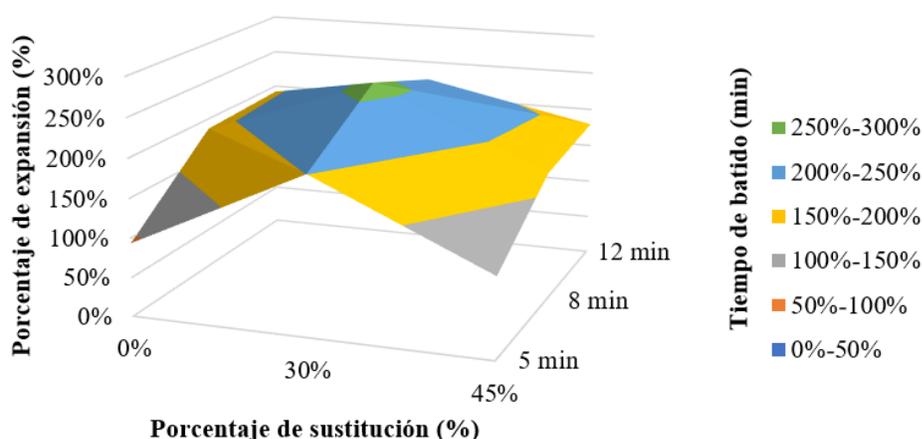
Respecto al porcentaje de sustitución, sustituir un 30% del agente espumante por mucílago de okra incrementó de forma significativa la expansión comparado a 0% y 45% de sustitución (véase Cuadro No. 43, en anexos). Las sustituciones de 0% y 45% no muestran una diferencia significativa en la expansión, es posible sustituir hasta 45% de la albúmina de huevo pero no se obtendrán las condiciones óptimas. (véase Cuadro No.43, en anexos). Similar a la densidad, sustituir un 45% resultó en una disminución significativa de la expansión debido al incremento de viscosidad (Lau y Dickinson, 2005). Análogo a la espuma de tamarindo, que presentó menor expansión luego de superar el punto óptimo de la concentración del agente estabilizante (maltodextrina) y tiempo de batido (Pavani, 2019).

En la Figura No. 15 se observa una curvatura de tonalidad celeste y verde cuyo máximo se centra en la sustitución del 30% batido durante 8 minutos y expansión máxima de 265%. En la espuma de papaya, se mostró una expansión similar a la de este estudio de 269.05%. En otros estudios la expansión máxima del melón, mango y remolacha fue de 95, 94.8 y 87.78% respectivamente (Sangamithra, 2016; Rajkumar, *et al.*, 2007; Ling y Sulaiman, 2018). Es decir, que

esta espuma contaba con una mayor capacidad de incorporación de aire, posiblemente por el efecto antes mencionado del complejo con el polisacárido. Esta diferencia también se puede deber a las condiciones del estudio (velocidad de batido, forma del batidor, temperatura, entre otros) y cantidad de aire objetivo a incorporar a la matriz (Sangamithra, 2014).

En la espuma de melón y papaya se concluyó que, para optimizar la expansión, densidad y estabilidad, concentraciones superiores a 10% de albúmina de huevo debían utilizarse (Sangamithra, 2016; Abd El-Salam, Mohammed y Said, 2020). Las condiciones de este estudio y el uso de mucílago de okra permitieron la reducción de la albúmina de huevo a menos de 5% ofreciendo propiedades de espuma similares a las de tales estudios.

Figura 15. Gráfico 3-D sobre el efecto del mucílago de okra y tiempo de batido en la expansión de la espuma de melón



6.5.3 Efecto del mucílago de okra y tiempo de batido en la estabilidad de la espuma

Como se mencionaba en la Sección 4.4.1 sobre la estabilidad en una espuma, el éxito del secado por el método de espuma depende de la producción de espumas estables al calor y a procesos mecánicos. Únicamente la espuma de melón con 5% albúmina de huevo presentó drenado. El tiempo de batido no efectuó una diferencia significativa en la estabilidad (ver Cuadro No.44 en anexos). El resto de las sustituciones no presentó drenado. Concuerta con la posibilidad de formación de complejos proteína-polisacárido, que reducen la razón de drenado debido al incremento en el grosor de las películas (Farneau y Salonen, 2014).

No obstante, en todas las espumas se observó el incremento en el tamaño de las burbujas con el tiempo (véase Cuadro No.16). Si bien la adición de mucílago disminuyó la razón de rearreglos en la burbuja, la elasticidad del mucílago no fue suficiente para detenerlos (Farneau y Salonen, 2014). Se presentaron dos mecanismos de inestabilidad engrosamiento y posible colapso, observado como la ampliación del tamaño de las burbujas. La espuma al deformarse en una hora, no se considera completamente estable mecánica y térmicamente (Ratti y Kundra, 2006). Sin embargo, el hecho de no haber presentado drenado aumentó las probabilidades de que el tiempo de secado disminuyera que es lo que se esperaba del método (Bag, *et al.*, 2011).

Cuadro 16. Tamaño de burbuja de la espuma de melón respecto al tiempo

Porcentaje de sustitución (%)	Tiempo	
	0 min	60 min
0%		
30%		
45%		

6.6 Secado de pulpa de melón

De acuerdo con los resultados descritos en la Sección 6.5, se utilizaron las condiciones para obtener características óptimas de la espuma. Es decir, la espuma de melón sustituyendo un 30% del mucílago de okra batido durante 8 minutos y se comparó respecto a un control (albúmina de huevo, 8 min). Este porcentaje de sustitución dio buenos resultados sobre las propiedades espumantes. No había una diferencia significativa tanto en la densidad como expansión al batir durante 8 o 12 minutos, se eligió la que requería menos tiempo de batido por motivos de ahorro energético.

Cuadro 17. Tiempo de secado según el agente espumante y temperatura de secado.

Temperatura	Matriz	Tiempo de secado (min)
60°C	EW	148 ± 25
	EW/MO	153 ± 11
70°C	EW	113 ± 11
	EW/MO	123 ± 11

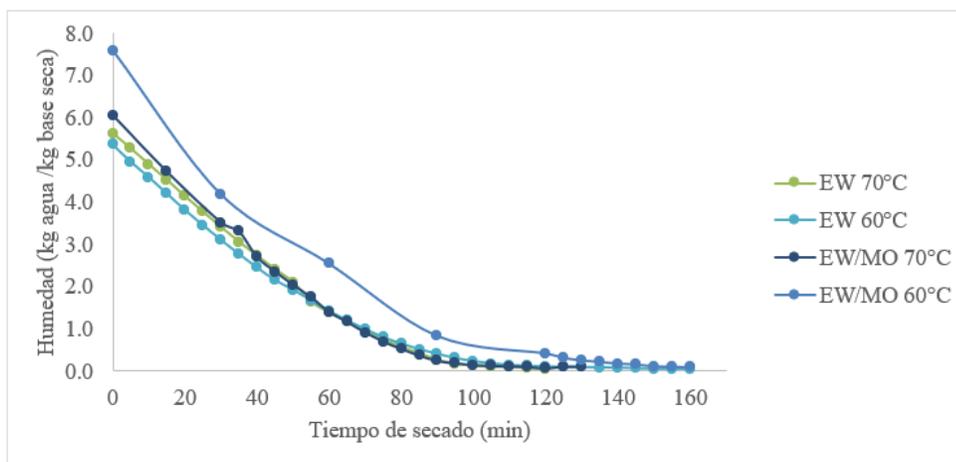
Nota: EW = albúmina de huevo. MO = mucílago de okra

El ANOVA indicó que el uso de mucílago de okra no tuvo un efecto significativo en el tiempo de secado de pulpa de melón respecto a la espuma con únicamente albúmina de huevo. Esto concordó con la curva de secado de las espumas de melón en la Figura No.16, sin importar la temperatura y matriz el comportamiento de secado fue similar. La temperatura disminuyó significativamente el tiempo de secado (valor $-p = 0.041$) (véase Cuadro No.46). Redujo de aproximadamente 150 a 120 minutos al incrementar la temperatura de 60°C a 70°C respectivamente (véase Cuadro No.17). El aumento en la temperatura proporcionó mayor energía al sistema para el cambio de fase del agua, incrementando la rapidez del secado (Feng, Yin y Tang, 2012).

Ambas matrices a 70°C aportan menores tiempos de secado a los presentados por otras espumas de melón. Una espuma de melón que utilizó 3% albúmina de huevo, 0.17% goma xantana, batida por 8.8 minutos y dispuesta a un grosor de 3 mm se deshidrató en 150 minutos (Salahi, *et al.*, 2014). Otra espuma de melón con 11.59% albúmina de huevo, 0.59% carboximetilcelulosa, batido por 4 minutos presentó un mayor tiempo de secado de aproximadamente 260 min (Sangamithra, *et al.*, 2015). En esta investigación fue de aproximadamente 120 minutos.

La diferencia probablemente radica en que se logró obtener a menores densidades de espuma. Por lo tanto, existían mayores fracciones de áreas de transferencia de masa, que agilizaron el movimiento de la humedad hacia la superficie reduciendo el tiempo de secado (Thuwapanichayanan, *et al.*, 2012). Otro factor que afectó en la transferencia de masa fue la interacción específica de los agentes espumantes con el melón (Barros y Alvarenga, 2016).

Figura 16. Curvas de secado de pulpa de melón con diferentes agentes espumantes y temperaturas.



Nota: EW = Albúmina de huevo; MO = Mucílago de okra. La razón de humedad base seca por muestra, matriz y temperatura se presenta en el Cuadro No. 47 a 50, en anexos.

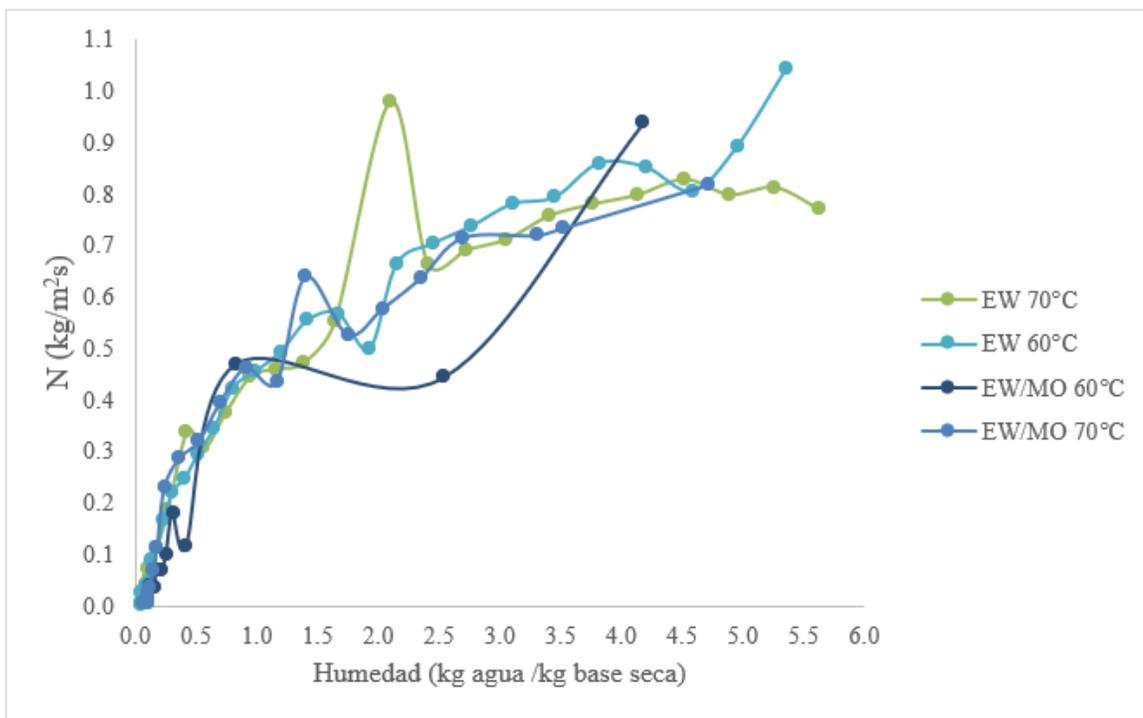
En la Figura No.17 se describe como en todas las curvas de secado se obtuvieron dos periodos de secado superficial no saturado. Es normal pues la espuma está conformada de capilares con agua. Por lo tanto, la rapidez de secado está controlada por difusión. Esto resulta en bajas razones de evaporación interna debido a la menor permeación del vapor en la espuma (Mounir, 2017).

Durante la fase inicial, el área superficial que ofrece la espuma y constante exposición a nuevas capas de burbujas permitió una mayor evaporación del agua comparado al método tradicional de secado (Hardy y Jideani, 2015; Sankat y Castaigne, 2004). El segundo periodo de secado superficial no saturado se presentó entre los 0.50 – 0.1 kg H₂O/kg base seca. Donde la cantidad de humedad fue menor y se encontraba ligada a la estructura. Las menores razones de secado se debían a que estaban limitadas a la capilaridad del agua desde el interior de la espuma hacia la superficie y la entalpía de evaporación del agua ligada que es mayor en este periodo (Varzakas y Tzia, 2015; Driscoll, 2014; Feng, Yin y Tang, 2012).

La curva EW/MO 60°C parece que fue la matriz con la más lenta evaporación del agua. Se refleja también en la Figura No.16. Inicialmente la razón de secado fue más lenta que en las otras matrices, pero la espuma cumplió con el objetivo al secar en menor tiempo.

La razón de secado fue similar en todas las matrices y temperaturas, no se observa una diferencia visual en la rapidez de secado a pesar de que la temperatura tuvo un efecto significativo en el tiempo de secado. Es posible que se deba a las diferencias en la humedad inicial que afectaron en la razón de evaporación. El poco impacto en la razón y tiempo de secado al incluir mucílago de okra en la espuma de melón indicó que no afectaría en la eficiencia de la producción de polvo de melón. Lo que hace factible que el mucílago de okra sea sustituto parcial de la albúmina de huevo.

Figura 17. Curvas de razón de secado respecto al contenido de humedad de la espuma de melón con diferentes agentes espumantes y temperaturas.



Nota: EW = Albúmina de huevo; MO = Mucílago de okra. La razón de secado por muestra, matriz y temperatura se presenta en el Cuadro No. 47 a 50, en anexos.

La densidad y expansión de la espuma de melón con mucílago indicaron aportar un mayor contenido de burbujas que la espuma con albúmina de huevo (ver Cuadro No.45, en anexos). En consecuencia, debió mejorar la razón y tiempo de secado.

Un comportamiento similar se observó en estudios con la espuma de mango, combinar albúmina de huevo con una mezcla emulsificante resultó en mayores tiempos de secado y menor difusividad efectiva de la humedad (Chaux-Guitérrez, *et al.*, 2017). El emulsificante, así como el mucílago de okra, poseen el papel de retener agua dificultando la difusión del agua a la superficie. Se observó elongación de los poros en los polvos, indicando colapso de burbujas, algo que no se presentó en el polvo con albúmina de huevo (ver Cuadro No.18). Está relacionado con la menor densidad y posible inestabilidad del mucílago de okra al calor. La elongación pudo ser otro factor que afectó en la movilidad del agua (Thuwapanichayanan, *et al.*, 2012).

Las razones de secado similares se atribuyen también a la humedad inicial de las matrices y la contracción de la espuma (Thuwapanichayanan, *et al.*, 2012). En la sección 6.7.2. sobre la humedad del polvo de melón, se explica otro factor que pudo estar relacionado con los efectos del mucílago de okra en la razón de secado.

Cuadro 18. Fotografías de la textura del polvo de melón

Agente espumante	Temperatura de secado	
	60°C	70°C
Albúmina de huevo (EW)		
Albúmina de huevo / mucílago de okra (EW/MO)		

Nota: *Las imágenes son de referencia, el efecto del secado en el color se describe en la Sección 6.7.5.

6.7 Efecto de la sustitución del agente espumante y temperatura de secado en las características del polvo de melón.

6.7.1 Propiedades fisicoquímicas y rendimiento

El rendimiento del polvo de melón fue de 13.6% a 15.9% (véase Cuadro 19), superior al presentado en el polvo de melón miel de $8 \pm 0.5\%$ (Balaswamy, *et al.*, 2016). La acidez, contenido de sólidos solubles y pH no se vieron afectados por el agente espumante o temperatura de secado (valor $-p > 0.05$). La acidez y sólidos solubles definen parte del sabor dulce y ácido, entonces el sabor fue similar en todos los polvos. El pH y acidez fueron similares a los descritos en la sección 6.3 sobre el melón fresco. El tratamiento con mucílago de okra disminuyó el pH. El pH natural de la albúmina de huevo es de 8.12, utilizar una mayor concentración generó un leve incremento en el pH (Secci, *et al.*, 2019).

Se calibraron los sólidos para que fueran 11°Brix previo a la adición del agente espumante. Es posible que los sólidos solubles de la okra y albúmina de huevo hayan generado un aumento de 11 a 14°Brix en el producto final. Acompañado también de la concentración de polvo de melón en solución. No se observó un daño por la temperatura en el contenido de sólidos como en el polvo de papaya (Kandasamy, *et al.*, 2019). Es posible que las altas temperaturas y rápido secado no hayan promovido una importante reacción de Maillard que modificara la estructura de los carbohidratos solubles. Los azúcares totales del mango tampoco fueron afectados significativamente por el agente espumante y temperatura de secado (Rajkumar, *et al.*, 2007).

Cuadro 19. Propiedades fisicoquímicas del polvo de melón

Agente espumante	Temperatura	pH	Acidez titulable (%) [*]	Sólidos solubles (°Brix)	Rendimiento (%)
EW	60	6.18 ± 0.13	0.05 ± 0.01	14.00 ± 0.26	15.50 ± 0.27
	70	6.18 ± 0.03	0.06 ± 0.01	13.87 ± 0.06	15.92 ± 0.50
EW/MO	60	6.08 ± 0.03	0.06 ± 0.04	13.37 ± 0.60	14.33 ± 1.53
	70	6.09 ± 0.07	0.07 ± 0.02	13.73 ± 0.23	15.45 ± 0.23

Nota: EW = Albúmina de huevo; MO = mucílago de okra

6.7.2 Humedad

Las propiedades del polvo de melón se preservan a través del contenido de humedad y actividad de agua. El contenido de humedad se presenta en el Cuadro No.20, fue similar al del melón secado a temperaturas entre 40 y 70°C, cuyo rango de humedad iba de entre 4.59 y 8.86% humedad (Salahi, *et al.*, 2017). La humedad fue superior a la requerida en polvos instantáneos, 2.5% es la del café, lo que afectó la fluidez. Sin embargo, se encuentra dentro de los parámetros aceptados para un preservar un polvo alimenticio, en el caso de la gelatina la humedad es de 12% (Barbosa, 2005).

No hay un efecto significativo por tipo de agente espumante (valor – p = 0.165) y temperatura de secado (valor – p = 0.226) en la humedad del polvo de melón (véase Cuadro No.69, en anexos). La adición de mucílago de okra resultó en un incremento en la humedad sin importar la temperatura de secado. El mucílago de okra en este estudio presentó humedad enlazada a su estructura (humedad de 8.50%), señalando que contaba con sitios de adsorción que le permitieron enlazar moléculas de agua a través de enlaces de hidrógeno (Zaharuddin, Noordín y Kadivar, 2014).

Esto también se pudo haber reflejado en la razón de secado de la espuma con mucílago de okra, que no pareció superar el de la espuma control (ver Figura No.18). Posiblemente por ello ligó más agua el polvo de melón con mucílago de okra a su estructura. Similar al uso de maltodextrina, provocó un mayor contenido de humedad final y una reducción en la velocidad de secado debido a que el tamaño de sus moléculas dificultó la difusión del agua (Adhikari, *et al.*, 2004).

El incremento del contenido de agua ligada acrecentó las interacciones agua – fibra que rigen fuertemente el aumento de la temperatura de la matriz (Cui, *et al.*, 2020). Un menor aumento de la temperatura de la espuma indica menor energía, que resultó en menor transferencia de calor y masa.

Cuadro 20. Humedad del polvo de melón respecto a matriz y temperatura de secado

Agente espumante	Temperatura (°C)	Humedad (%)
EW	60	5.80 ± 1.56
	70	5.50 ± 0.71
EW/MO	60	11.85 ± 4.88
	70	6.35 ± 2.47

Nota: EW = Albúmina de huevo; MO = mucílago de okra

6.7.3 Densidad aparente y densidad comprimida

El rango de densidad aparente iba entre 0.45 a 0.50 g/mL y densidad comprimida de entre 0.63 a 0.65 g/mL (véase Cuadro No. 21). Similares resultados se observaron al utilizar proteína de soya y carboximetilcelulosa en el desarrollo de polvo de melón, con densidad aparente y comprimida de 0.506 a 0.544 g/mL y 0.59 a 0.643 g/mL respectivamente (Sangamithra, 2016).

Los valores de densidad aparente bajos, se deben al contenido de aire dentro de las partículas resultante del proceso de espumado y temperaturas de secado (Varhan, *et al*, 2019). El beneficio de la densidad se refleja en las propiedades de reconstitución reflejada en la sección 6.7.6, el polvo se disuelve en tiempos menores a 6 minutos. También se debió a la distribución del tamaño de partículas y densidad de las partículas (Augustin, Clarke y Craven, 2003).

El ANOVA indicó un incremento significativo (valor $-p = 0.001$) en la densidad aparente al incluir mucílago de okra. Opuesto al polvo de limón, que presentó una disminución significativa de la densidad aparente al incrementar el contenido de albúmina de huevo (Dehghannya, *et al.*, 2018). Es posible que la disminución de este agente y el posible colapso de burbujas del mucílago provocara el incremento en la densidad.

El polvo de melón con mucílago de okra ofreció ventajas en el de transporte, pues por menos volumen se transportan más kilogramos. Por otro lado, la temperatura no provocó ningún cambio significativo en la densidad aparente o densidad comprimida (véase Cuadro No.67 en anexos). Contrario a la literatura que indica que el incremento en la temperatura permite obtener productos con menores densidades debido a la mayor razón de secado (Sangamithra, 2016).

Cuadro 21. Densidad aparente, comprimida y fluidez del polvo de melón

Agente espumante	Temperatura (°C)	Densidad aparente (g/mL)	Densidad comprimida (g/mL)	Ratio Hausner	Fluidez
EW	60	0.45 ± 0.01	0.63 ± 0.00	1.39	Pobre
	70	0.46 ± 0.01	0.63 ± 0.00	1.36	Pobre
EW/MO	60	0.49 ± 0.01	0.65 ± 0.00	1.31	Pasable
	70	0.50 ± 0.00	0.63 ± 0.00	1.25	Correcta

Nota: EW = Albúmina de huevo; MO = mucílago de okra

6.7.4 Fluidez y tamaño de partícula

La fluidez, como interpretación de la relación de Hausner, se describe en el Cuadro No.21. Entre menor es el valor de Hausner mejor es la fluidez, estos disminuyeron significativamente con el incremento de la temperatura (valor $-p = 0.033$) y uso del mucílago de okra (valor $-p = 0.002$) (véase Cuadro No.68, en anexos). Se observa el mismo comportamiento en el polvo de melón miel con 8.71% proteína de soya y 0.54% carboximetilcelulosa (Asokapandian, *et al.*, 2015).

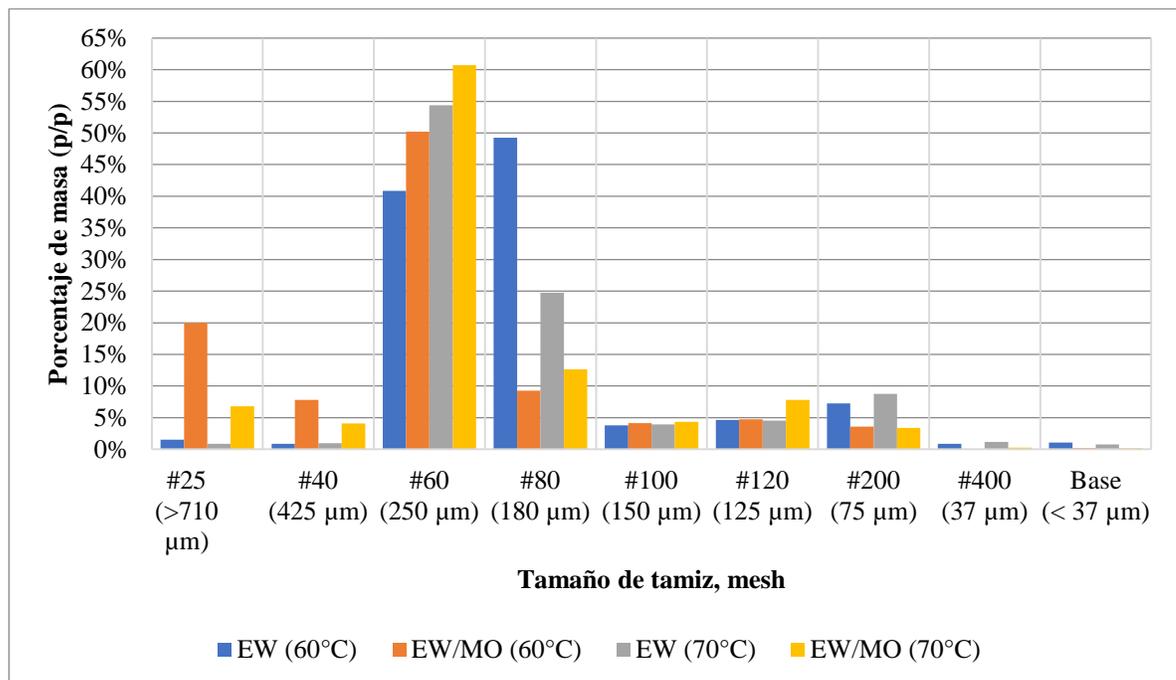
Para matrices con mucílago de okra la relación indicó que el polvo de melón contaba con propiedades pasables (60°C) y correctas (70°C). La inclusión del mucílago de okra a pesar de ser más higroscópico y pegajoso no afectó en la fluidez. Sino el tamaño de partícula y posiblemente mejores características estructurales del polvo. Pues consiste en un 71.6% (70°C) a 78.0% (60°C) de partículas con tamaño de inferior a 250 μm que permitieron una mejor fluidez (véase Figura No.19).

Los polvos elaborados con albúmina de huevo presentaron fluidez pobre. Probablemente porque gran parte del polvo consistía en partículas menores a 200 μm o de tamiz #80 (véase Figura

No.19). A 60 y 70°C el tamaño de partícula menor al tamiz #80 fue de 66.8% y 43.9% respectivamente. Esto incrementó la resistencia al flujo debido a la mayor área de superficie que facilitó el contacto con fuerzas cohesivas y de fricción (Fitzpatrick, 2005).

No se presentó la obtención “buenas” propiedades de fluidez, posiblemente por el contenido de humedad y sólidos solubles, cuya estructura fomenta la higroscopicidad (Phanindrakumar, *et al.*, 2005). Si bien el secado por espuma permitió una reducción en la pegajosidad y cohesión del producto. Luego de exponer el polvo un amplio tiempo a la humedad del ambiente, la formación de puentes de humedad disminuyó más la fluidez (Fitzpatrick, 2015). Si bien el tiempo de evaluación y exposición fue mínimo esto pudo haber afectado los resultados.

Figura 18. Distribución másica del tamaño de partícula del polvo de melón respecto a matriz y temperatura de secado



Nota: EW = Albúmina de huevo; MO = mucílago de okra. Los datos específicos se describen en el Cuadro No. 52 a 55. ver anexos.

6.7.5 Color

La percepción del color es importante para la selección de alimentos, sirve como indicador del grado de calidad (Cömert, Mogol y Gökmen, 2019). Los valores L* (luminosidad), a* (rojo), b* (amarillo), matiz y saturación para los polvos de melón secados a 60 y 70°C con distinto agente espumante se muestran en el Cuadro No.22.

El agente espumante (valor $-p = 0.000$) y la interacción con la temperatura de secado (valor $-p = 0.034$) tuvo un efecto significativo en los valores de L*. La luminosidad disminuyó significativamente con el uso de mucílago de okra en ambas temperaturas de secado respecto al polvo con albúmina de huevo (véase Cuadro No. 61 y 62, en anexos). Se atribuyó al color marrón del mucílago de okra. No espumar la pulpa del melón miel generó valores de L* de 35.83 (Sangamithra, 2016). El mucílago de okra no afectó la luminosidad del polvo tanto como las reacciones de Maillard presentadas a 70°C cuando no se espuma la pulpa de melón.

El uso exclusivo de albúmina de huevo aportó más luminosidad, probablemente por la incorporación de aire durante el proceso de batido (Sangamithra, 2015). Los valores de L* fueron mayores a los de la literatura (58.20 a 51.47) debido a la diferencia de densidad de la espuma. En el estudio de melón miel la densidad mínima fue de aproximadamente 0.300 g/mL, en este estudio ingresó más aire en todas las estructuras y por ello fueron de 0.200 g/mL (Sangamithra, 2014).

El polvo control tiene un valor de a* (rojo) significativamente mayor que el polvo con mucílago de okra (valor - p = 0.004). Altos valores de a* son importantes pues presentan alta correlación (r = 0.91) con el contenido de carotenoides (Itle y Kabelka, 2009). Por otro lado, la reducción en el valor b* (amarillo) es significativa al no aplicar mucílago. Por lo tanto, el polvo con albumina es más rojo, menos amarillo y más pálido que el polvo con mucílago, similar al color “salmón” (véase Cuadro No.20). En el matiz, el rango varió entre 56.56 a 57.13°, al ser superior a 45° indica que tiene una tonalidad anaranjada.

En el polvo de melón con mucílago de okra se obtuvo una disminución significativa de a* y aumento significativo en el valor de b*. Concuerda con el secado de mora azul, donde la posible reacción del complejo polisacárido – proteína, incrementó el valor de b* (Darniadi, 2017). Se refleja en el matiz, indica que el polvo con mucílago posee una coloración anaranjada más cercana al eje de 90° que es amarillo. Con respecto a la disminución de a* puede deberse a la pérdida de carotenos o bien el efecto del complejo mencionado. Esto puede impactar negativamente al comprador del polvo de melón.

Con respecto a la saturación, la adición de mucílago de okra incrementó significativamente la intensidad del color anaranjado respecto al polvo de la albúmina de huevo (véase Cuadro No.66 en anexos). El color anaranjado intenso es un buen indicador de un producto apetecible pues permitiría que el cliente hiciera referencia al color natural del melón.

En el efecto de la temperatura, 10°C de diferencia no generaron un cambio significativo en ningún aspecto del color. Posiblemente porque las razones de secado eran similares. A su vez, tampoco permitió el desarrollo de las tonalidades características de la reacción de Maillard, que se hubiera observado en la disminución significativa en el caso del valor L* (Salahi, *et al.*, 2017; Darniadi, 2017).

Cuadro 22. Color del polvo de melón respecto a matriz y temperatura de secado

Agente espumante	Temperatura (°C)	L*	a*	b*	Matiz (H°)	Saturación	Color
EW	60	76.28 ± 0.16	19.19 ± 0.17	29.71 ± 0.39	57.13 ± 0.98	35.37 ± 2.05	
	70	75.66 ± 0.61	19.59 ± 0.22	29.67 ± 0.37	56.56 ± 0.12	35.56 ± 0.82	
EW/MO	60	66.27 ± 0.20	17.99 ± 1.53	33.89 ± 1.52	62.07 ± 0.98	38.37 ± 2.05	
	70	66.71 ± 0.29	17.07 ± 0.38	32.35 ± 0.73	62.18 ± 0.12	36.57 ± 0.82	

6.7.6 Propiedades de reconstitución

Un polvo con propiedades instantáneas es lo más deseado en polvos alimenticios. Estas propiedades se midieron a través del tiempo de reconstitución y solubilidad del polvo de melón. La solubilidad expresa la cantidad de polvo de melón que el agua pudo disolver a condiciones ambientales. El rango de solubilidad varió entre 90.71 a 94.96%, la temperatura y agente espumante no influenciaron significativamente en la solubilidad (véase Cuadro No.56, en anexos).

En general el polvo posee una excelente solubilidad pues más del 90% de los sólidos se solubilizaron. La solubilidad se atribuye principalmente a la composición del polvo, en su mayoría consiste en carbohidratos y proteínas solubles en agua. Es un factor importante a nivel industrial, pues se desea la mayor solubilidad para poder hacer soluciones homogéneas y evitar pérdidas debido a componentes sin disolver (Darniadi, 2017).

Los valores en este estudio son mayores a los reportados para el melón, papaya y mango utilizando albúmina de huevo, que fueron de 81.53 a 82.96%, 60.19 a 65.61% y 82.70% a 88.84% respectivamente (Salahi, *et al.*, 2015; Kandasamy, *et al.*, 2019; Chaux-Guitérrez, *et al.*, 2017).

Se observa una leve disminución en la solubilidad al utilizar mucílago de okra (ver Cuadro No.23). La solubilidad del mucílago es de 94.9% a pH 7. Exponer el mucílago a un medio más ácido (pH de 6.18 a 6.09) posiblemente afecto la capacidad de hidratación y solubilización a causa de la menor ionización de los grupos carboxilo (Alvarenga, Mottin y Ayres, 2016).

Cuadro 23. Propiedades de reconstitución del polvo de melón

Agente espumante	Temperatura (°C)	Solubilidad (%)	Tiempo de disolución (s)
EW	60	94.06 ± 0.81	42 ± 33
	70	91.12 ± 8.24	21 ± 8
EW/MO	60	90.63 ± 2.19	219 ± 130
	70	90.71 ± 2.97	134 ± 48

Nota: EW = Albúmina de huevo; MO = mucílago de okra

Se estudió el tiempo de reconstitución y se describen en el Cuadro No.23, estos fueron los tiempos necesarios para integrar totalmente los polvos al disolvente. El uso de mucílago de okra incrementa significativamente el tiempo de reconstitución (valor $-p = 0.008$). El polvo con albúmina de huevo se hidrató, hundió, dispersó y disolvió en menos de un minuto. Por otro lado, el polvo con mucílago de okra fue difícil de dispersar, se observó la formación de masas que prolongaron el tiempo de reconstitución. Comportamiento usual de polvos con capacidad de hidratación moderada. Si bien el tiempo de reconstitución es aceptable, en la industria impactaría en el costo de energía mecánica requerida para disolver el material. El tomate variedad Galela secado en horno ofrece un tiempo de reconstitución similar de 230 segundos (Suliman, Abdalla y Salih, 2013).

El mucílago de okra, cuenta con capacidad de retención de aceite debido al contenido de cadenas no polares y fracciones hidrofóbicas presentes en sus proteínas (Aziah, *et al.*, 2014). Lo que influencia a que la superficie de las partículas fuera menos hidrofílica. Generalmente los problemas de dispersión también se deben a películas viscosas desarrolladas en la interfaz del solvente y polvo que inhabilitan la fácil penetración del agua (Fitzpatrick, *et al.*, 2017). Además, el

polvo con mucílago presentó una densidad aparente ligeramente superior al polvo control. Posiblemente era menos poroso y afectó en la capacidad para dispersarse (Saifullah, *et al.*, 2016; Fang, Selomulya y Chen, 2007).

La distribución del tamaño de partícula en el polvo de melón con exclusivamente albúmina de huevo presentó polvos de menor tamaño, cuya capacidad de retención del agua es menor comparada a tamaños de partícula mayores (Makl y Zeitler, 2017; Sharma, *et al.*, 2013). Lo que podría explicar porque el tiempo de hidratación es mayor comparado a otro polvo de melón con goma xantana y albúmina de huevo que indica ser de 4.91 segundos (Salahi, *et al.*, 2017). La temperatura de 70°C no generó una diferencia significativa en el tiempo de reconstitución (valor – $p = 0.230$). Sin embargo, se observa una disolución más rápida del polvo a 70°C, probablemente por una mayor porosidad en ambas matrices a causa de una mejor difusión de humedad durante el secado (Salahi, *et al.*, 2016).

7. Conclusiones

1. El mucílago de okra de descarte tiene potencial como agente auxiliar de espumas en la producción de polvo de melón por el método de secado con espuma. El polvo de mucílago de okra cuenta con una fluidez aceptable y densidad similar a la densidad de otros agentes auxiliares para espumas. La reutilización de la acetona hace de este aditivo económicamente factible. Es viable sustituir parcialmente la albúmina de huevo con mucílago de okra, cuya combinación fomenta la capacidad espumante.
2. El uso de una espuma de melón mejorada con albúmina de huevo sustituida en un 30% por mucílago de okra y batido durante 8 minutos, no impactó significativamente en el tiempo de secado y presenta similar razón de secado que la espuma con albúmina de huevo. Es posible utilizar mucílago de okra como sustituto parcial de la albúmina de huevo sin afectar en la razón de producción del polvo de melón.
3. La aplicación de mucílago de okra en el polvo de melón no afectó significativamente en las características fisicoquímicas y en la prueba de solubilidad. Se obtuvo un incremento significativo en la densidad aparente y fomenta la fluidez atribuido al tamaño de partícula. Se evidenció un impacto significativo, en los valores del color generando tonalidades marrones e incrementando la intensidad del color. Afectó negativamente en el tiempo de reconstitución aumentándolo a 219 ± 130 segundos y en la humedad incrementándola de 5.50 a 11.85%. La temperatura no tuvo mayor efecto en las características del polvo más allá que incrementar significativamente la fluidez. La interacción con el porcentaje de sustitución disminuyó la luminosidad.

8. Recomendaciones

1. Para preservar mejor las propiedades del mucílago de okra de rechazo variedad Clemson de origen guatemalteco se recomienda recurrir a procesos con menor impacto térmico. Como la liofilización o secado al vacío, acompañado de un método de precipitación sin solventes como el uso de sal.
2. Se recomienda evaluar la estabilidad de la espuma de albúmina de huevo y mucílago de okra a través la pérdida de volumen y tamaño de la burbuja, pues los mecanismos de inestabilidad impactan en ellos.
3. Para mejorar la estabilidad de la espuma se recomienda acompañar el mucílago de okra con otro estabilizante que no sea afectado por el calor. Así ampliar el tiempo en el que se engrosa la espuma.
4. Se recomienda evaluar el impacto del secado en el polvo de melón a menor temperatura, pues los tiempos de secado fueron satisfactorios. Utilizar menores temperaturas de secado permitirían preservar mejor el perfil aromático.
5. Para estudiar el efecto del secado en las propiedades sensoriales del polvo de melón se recomienda realizar un panel sensorial de aceptabilidad a consumidores de melón. Lo adecuado sería pasteurizar el jugo de melón a 72°C durante 16 segundos, preparar el polvo y evaluarlo en diferentes matrices como bebidas o postres.
6. Se recomienda evaluar si el porcentaje de sustitución es útil cuando se trabajan concentraciones mayores de albúmina de huevo y su efecto en el tiempo de disolución que fue la propiedad más afectada.

9. Bibliografía

Abd El-Salam, E., Mohammed, A., Said, K. (2020) Foaming process optimization, drying kinetics and quality of foam mat dried papaya pulp. *J Food Sci Technol.* <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04657-2>

Adelakun, O., Ade-Omowaye, B. , Adeyemi,I. & Van de Venter,M. (2012) Mineral composition and the functional attributes of Nigerian okra seed (*Abelmoschus esculentus* Moench) flour. *Food Research International* 47 (2): 348 - 352

Adhikari B., Howes T., Bhandari B.R., Truong V., 2004. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: experiments and modeling. *Journal of Food Engineering*, 62: 53-68

Affognon, H., Mutungi, C., Saginga, P y Borgemesiter, C. (2015) *Unpacking Postharvest Losses in Sub-Saharan Africa: A Meta-Analysis.* *World Development.* 66: 49 - 68. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.08.002>

Agbenorhevi *et al.* (2020) Survey and evaluation of okra pectin extracted at different maturity stages. *Food Science & Technology.* 6 (1), DOI: [10.1080/23311932.2020.1760476](https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1760476)

Ahiakpa, J.K., Amoatery, H.M., Amenorpe, G. , Apatey, J., Ayeh, E.a., Quartey, E.K. y Agbemavor, W.S.K. (2014) Mucilage Content of 21 Accessions of Okra (*Abelmoschus* spp L.) *Sci. Agri.* 2(2): 96 – 101

Alba, K., Ritzoulis, C., Georgiadis, N., Kntogiorgos. (2013) Okra extracts as emulsifiers for acific emulsions. *Food Research International.* 54:1730 – 1737.

Altahi, A. (2013) *Egg White Foam.* [Master Thesis]. Massey University. Auckland, New Zealand. 172 págs.

Alvarenga, M., Mottin, A., Ayres, E. (2016) Preparation and Characterization of Okra Mucilage (*Abelmoschus esculentus*) Edible Películas. *Macromol. Symp.* DOI: 10.1002/masy.201600019

Álvarez, C., *et al.* (2013) Evaluación del efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible en meones (cucumis melo., var. Cantaloupe) cortados y almacenados en refrigeración. *Saber*, 25(2), 218-226.

Ani, Julius & Nnaji, Nnaemeka & C.O.B., Okoye & Onukwuli, Okechukwu. (2012). The coagulation performance of okra mucilage in an industrial effluent by turbidimetry. *Int. J. Chem Sci.* 10 (3) : 1293 – 1308.

AOAC (2000). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists.* 942.15A Fruits and fruit products - Acidity (Titratable) of Fruit Products. Arlington.

APEDA (2019) Market Intelligence Bulletin: Fruit Juices. *Market Intelligence for Food & Agriculture Export*. 1024 (1): 1 – 17. Extraído de: https://agriexchange.apeda.gov.in/Weekly_eReport/

Apinega, L., *et al.* (2017) Extraction, Comparative Precipitation Using Three Solvent Systems (Methanol, Ethanol, Acetone) And Characterization Of Bombax Costatum's Calyx Gum. *Nigerian journal of scientific research*, 16(3): 319 – 323

Archana, G., Sabina, K., Babuskin, S., Radhakrishnan, K., Fayidh, M. A., Babu, P. A. S., ... Sukumar, M. (2013). Preparation and characterization of mucilage polysaccharide for biomedical applications. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 89–94. doi:10.1016/j.carbpol.2013.04.062

Asokapandian, S., Venkatachalam, S., Swamy, G. y Kuppusamy, K. (2015) Optimization of foaming properties and foam mat drying of muskmelon using soy protein. *Journal of Food Process Engineering*. doi:10.1111/jfpe.12261

Assi, O., Sidibe, D., Knonan, Y., Coulibaly, A., Mahan, R., Biege, H. (2017) Viscosity Study of Mucilages Extracted from *Abelmoschus esculentus*, *Beilschmiedia mannii*, *Corchorus olitorius* and *Irvingia gabonensis* from Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Life Sciences International*. 11(1): 1 – 14.

Augustin, M.A.; Clarke, P.T.; Craven, H. 2003 « Powdered Milk, Characteristics of Milk Powders » *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. USA: Academic Press. págs. 4703 – 4711

Auisakchaiyoung, T. y Rojanakorn, T. (2015) Effect of foam-mat drying conditions on quality of dried Gac fruit (*Momordica cochinchinensis*) aril. *International Food Research Journal* 22(5): 2025-2031

Aziah, *et al.* (2014) Emulsifying properties of extracted okra (*abelmoschus esculentus* L.) mucilage of different maturity index and its application in coconut milk emulsion. *International Food Research Journal*. 22 (2): 782 – 787

Azizpour, M., Mohebbi, M., Hossein, M. y Varidi, M. (2013) Foam-mat drying of shrimp: characterization and drying kinetics of foam. *Agric. Eng. Int: CIGR Journal*. 15(3): 159 - 165

Badui Dergal, Salvador. (2016) *Química de los Alimentos*. 4a. Ed. México: Pearson Education.

Bag, S. K., P. P. Srivastav, and H. N. Mishra. (2011) Optimization of process parameters for foaming of beal (*Aegle marmelos* L.) fruit pulp. *Food and Bioprocess Technology*, 4(8): 1450–1458.

Balaswamy, K., Rao, P. y Satyanarayana, A. (2016) Physico-chemical and Antioxidant Properties of Foam Mat Dried Muskmelon (*Cucumis Melo*) and Application in Dairy Products. *Journal of Scientific & Industrial Research*. 75: 225 - 230

Barbosa, G., Ortega, E., Juliano, P. y Yan, H. (2005) *Food Powders: Physical Properties, Processing and Functionality*. New York. Kluwer Academic/Plenum Publisher.

Barnwal, *et al.* (2017) Effect of Picking Stages on Fruit and Seed Development in Okra [*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench] Cultivars Kashi Pragati and Kashi Kranti. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*. DOI: 10. 10.5958/2230-732X.2017.00086.9.

Barros, R. y Alvarenga, D. (2016) *Foam-Mat Drying of Vegetables in Handbook of Drying of Vegetables and Vegetable Products*. Editado por Zhang, M., Bhandari, B. y Fang, Z. CRC Press.

Beaulieu, J. (2006) Volatile Changes in Cantaloupe during Growth, Maturation, and in Stored Fresh-cuts Prepared from Fruit Harvested at Various Maturities. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 131(1):127 – 139.

Boonyai, P., Bhandari, B. y Howes, T. (2004) Stickiness measurement techniques for food powders: a review. *Powder Technology*. doi:10.1016/j.powtec.2004.04.039

Bovšková, H. y Míková, K. (2011) Factors Influencing Egg White Foam Quality. *Czech J. Food Sci.* 4: 322 – 327

Buffetto, F., Cornuault, V., Gro, M., *et al.* (2015) The Deconstruction of Pectic Rhamnogalacturonan I Unmasks the Occurrence of a Novel Arabinogalactan Oligosaccharide Epitope. *Plant Cell Physiol.* 56(11): 2181–2196 (2015) doi:10.1093/pcp/pcv128

Burger, Y, *et al.* (2003) Development of Sweet Melon (*Cucumis melo*) Genotypes Combining High Sucrose and Organic Acid Content. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128 (4): 537 – 540.

Cahyana, A.; Kam, N.; Ellyn, N. (2017) Study on the stability of antioxidant and anti α -glucosidase activities using soaking treatment in Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) mucilage extraction. *Chemistry International.* 3 (3): 202 – 211.

Cano-Chauca, M.; Stringheta, P.C.; Ramos, A.M.; Cal-Vidal, J. (2005) Effect of the carriers on the microstructure of mango powder spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging*, 6(4), 420–428

Cantat, I., Cohen-Addad, S., Elias, F., Graner, F., Höhler, R., Pitois, O., Rouyer, F., Saint-James, A. (2013) *Foams: Structure and Dynamics*. Oxford University Press. New York: United States.

Chatterjee, S. y Mazumber, R. (2019) Novel Approach of Extraction and Characterization of Okra Gum as A binder for tablet formulation. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 12 (1), 189 - 192. DOI: <http://dx.doi.org/10.22159/ajpcr.2019.v12i1.29053>

Chaux-Gutiérrez, A., Santos, A., Granda, D. y Mauro, M. (2016). Foam Mat Drying of Mango: Effect of Processing Parameters on the Drying Kinetic and Product Quality. *Drying Technology.* 35. doi:10.1080/07373937.2016.1201486.

Cinar, I. (2020) *Basic in Trends en Trends in Landscape, Agriculture, Forest and Natural Science*. Cambridge Scholars Publishing. Editado por Zencirkiran, M.

Clayton, Jamie. 2019. «Introduction to Powder Characterization » *Handbook of Pharmaceutical Wet Granulation*. USA: Academic press. págs. 569 – 613

Cohen, S., *et al.* (2014) The *PH* gene determines fruit acidity and contributes to the evolution of sweet melons. *Nat Commun.* 5:4026 doi: 10.1038/ncomms5026

Cömert, E.D., Mogol, B.A., Gökmen, V. (2019) Relationship between color and antioxidant capacity of fruits and vegetables, *Current Research in Food Science*, <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2019.11.001>.

Cui, Y., *et al* (2020) Study on the Moisture Absorption and Thermal Properties of Hygroscopic Exothermic Fibers and Related Interactions with Water Molecules. *Polymers*. 12 (98). doi:10.3390/polym12010098

Dabestani, M., & Yeganehzad, S. (2018). Effect of Persian gum and Xanthan gum on Foaming Properties and Stability of Pasteurized Fresh Egg White Foam. *Food Hydrocolloids*. doi:10.1016/j.foodhyd.2018.08.030

Darniadi, S. (2017) *Optimisation of foam-mat freeze-drying conditions for blueberry powder and evaluation of powder properties*. Doctor of Philosophy. University of Leeds. England. 154 págs.

Dehghannya, J., Pourahmad, M., Ghanbarzadeh, B., & Ghaffari, H. (2018). Heat and mass transfer modeling during foam-mat drying of lime juice as affected by different ovalbumin concentrations. *Journal of Food Engineering*, 238, 164–177. doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.06.014

Doyle, M. y Buchanan, R. (2013) *Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers*. 4ta. Edición. ASM Press.

Driscoll, R. (2014) *Food Processing: Principles and Applications*. 2da Edición. John Wiley & Sons.

Durge, S., Srivastav, P., Jaybhav, R. (2015) Foaming behaviour. *International Journal of Agricultural Engineering*. 8 (2): 160 – 168.

Echemi (2021) Sodium Metabisulfite Price Analysis. Extraído de: <https://www.echemi.com/productsInformation/pd20150901012-sodium-metabisulfite.html>

Energuate (2020) ¿Cuánto cuesta la luz? Extraído de: <https://www.energuate.com/cuanto-cuesta-la-luz>

Fang, Y., Selomulya, C. y Chen, X.D. (2007) On Measurement of Food Powder Reconstitution Properties. *Drying Technology*, 26:1, 3-14, DOI: 10.1080/07373930701780928

Farneau, A. y Salonen, A. (2014) Effect of particles and aggregated structures on the foam stability and aging. *Comptes Rendus Physique*. 15 (8 – 9): 748 – 760.

Farooq, U., Malviya, R., Sharma, P., Expressway, Y., & Nagar, G. (2013). Extraction and Characterization of Okra Mucilage as Pharmaceutical Excipient. *Academic Journal of Plant Sciences*. 6 (4): 168 – 172. DOI: 10.5829/idosi.ajps.2013.6.4.82292

Febrianto, A., Kumalaningsih, S. and Ghazali, G.G.T. (2011). Process engineering of making powder milk with drying foam-method. (study of influence type and emulsifier concentration on milk powder physical quality). *Journal of Agriculture and Food Technology*, 1(11), 201, 203

Fekadu, H., Desse, G., Beyene, F., Kumar, S., Woldegiorgis, A. (2018) Indigenous Ethiopian okra (*Abelmoschus esculentus*) mucilage: A novel ingredient with functional and antioxidant properties. *Food Science & Nutrition*. 6:563 – 571. DOI: 10.1002/fsn3.596

Fekadu, H., Ratta, N., Desse, G., Woldegiorgis, A y Beyene, F. (2015) Nutritional quality and health benefits of “Okra” (*Abelmoschus esculentus*): A review. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*. 4(2): 208 - 2015

Feng, H., Yin, Y. y Tang, J. (2012) Feng, H., Yin, Y., & Tang, J. (2012). Microwave Drying of Food and Agricultural Materials: Basics and Heat and Mass Transfer Modeling. *Food Engineering Reviews*, 4(2), 89–106. doi:10.1007/s12393-012-9048-x

Figiel, A., & Michalska, A. (2017). Overall Quality of Fruits and Vegetables Products Affected by the Drying Processes with the Assistance of Vacuum-microwaves. *International Journal of Molecular Sciences*. <https://doi.org/10.3390/ijms18010071>

Fitzpatrick, J. (2005). Food Powder Flowability. *Encapsulated and Powdered Foods*, 247–260. doi:10.1201/9781420028300.ch10

Fitzpatrick, J., *et al.* (2017) Characterisation of the Wetting Behaviour of Poor Wetting Food Powders and the Influence of Temperature and Película Formation. *Powder and Particle Journal*. 34: 282 – 289.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2020) Crops. FAOSTAT. Extraído de: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2020) Value of Agricultural Production. FAOSTAT. Extraído de: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QV>

Franco, T.S.; Perussello, C.A.; Ellendersen, L.N.; Masson, M.L. (2016) Effects of foam mat drying on physicochemical and microstructural properties of yacon juice powder. *LWT - Food Science and Technology*, 66, 503–513.

Grand View Research (GVR) Functional Foods Market Size, Share & Trends Analysis Report by Ingredient (Carotenoids, Prebiotics & Probiotics, Fatty Acids, Dietary Fibers), By Product, By Application, And Segment Forecasts, 2019 – 2025. Extraído de: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/functional-food-market>

Gutierrez, L., Arias, S., Garzón, D., López, D. y Osorio, A. (2014) Transición vítrea en alimentos: sistemas binarios agua-carbohidratos. *Vector*. 9: 21 – 28.

Hardy, Z. y Jideani, V. (2015) Foam-mat drying technology: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. DOI: 10.1080/10408398.2015.1020359

Heiwall, A.; Calderon, J y Ogonnaya, D. (2007). *Pectic polysaccharides isolated from fruit pods of okra* (WO 2007/128578 A1). World Intellectual Property Organization. <https://patentimages.storage.googleapis.com/9a/0f/2d/b8432899564554/WO2007128578A1.pdf>

Hu, Z., Xu, R., Cranston, E. D., & Pelton, R. H. (2016). Stable Aqueous Foams from Cellulose Nanocrystals and Methyl Cellulose. *Biomacromolecules*, 17(12), 4095–4099. doi:10.1021/acs.biomac.6b01641

Igual, M., Garcia-Martinez, E., Camacho, M.M. y Martinez-Navarrete, N. (2010) Effect of thermal treatment and storage on the stability of organic acids and the functional value of grapefruit juice. *Food Chemistry* 118: 291-299.

Ismail, H. I., Chan, K. W., Mariod, A. A., & Ismail, M. (2010). *Phenolic content and antioxidant activity of cantaloupe (cucumis melo) methanolic extracts*. *Food Chemistry*, 119(2), 643–647. doi:10.1016/j.foodchem.2009.07.023

Itle, R. y Kabelka, E. (2009) Correlation Between Lab Color Space Values and Carotenoid Content in Pumpkins and Squash. *American Society of Horticultural Science*. 44(3): 633 - 637

Jacob K. Agbenorhevi, Fidelis M. Kpodo, Ben K. B. Banful, Ibok N. Oduro, Vincent Abe-Inge, Delight N. Datsomor, Juliana Atongo & Beatrice Obeng | (2020) Survey and evaluation of okra pectin extracted at different maturity stages. *Cogent Food & Agriculture*. 6: 1 – 13. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1760476>

Jaya, S. y Das, H. (2004) Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. *Journal of Food Engineering*, 63(2), 125–134.

Jiang, H. y Zhang, M. (2013). *Fruit and vegetable powders. Handbook of Food Powders. Processes and Properties*. 532-552. doi:10.1533/9780857098672.3.532.

Juarez-Enriquez, E., Olivas, G. I., Zamudio-Flores, P. B., Ortega-Rivas, E., Perez-Vega, S., & Sepulveda, D. R. (2017). *Effect of water content on the flowability of hygroscopic powders. Journal of Food Engineering*, 205, 12–17. doi:10.1016/j.jfoodeng.2017.02.024

Kadam, D., Patil, R. y Kaushik, P. (2010) *Foam Mat Drying of Fruit and Vegetable Products, in Drying of Foods*. Vegetables and Fruits. Vol1. (S.V. Jangam, C.I. Law and A.S. Mujumdar, ed). Pp. 113 – 124. ISBN: 978-981-08-6759-1. Singapur.

Kandasamy, P., Varadharaju, N. y Kaleemullah, S. (2012) Production of papaya powder under foam-mat drying using methyl cellulose as foaming agent. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*. 5(5): 374 – 387

Kandasamy, P., Varadharaju, N., Dhakre, D.S., Smritikana, S. (2019) Assessment of physicochemical and sensory characteristics of foam-mat dried papaya fruit powder. *International Food Research Journal*. 26(3): 810 – 829.

Karam, M., Petit, J., Zimmer, D., Baudelaire, E., Scher, J. (2016) Effects of drying and gringing in production of fruit and vegetable powder: A review. *Journal of Food Engineering*. 188:32 – 49.

Kontogiorgos, V. (2019) Polysaccharides at fluid interface of food systems. *Advances in Colloid and Interface Science* . 270. 28 – 37

Kontogiorgos, V., Margelou, I., Georgiadis, N., & Ritzoulis, C. (2012). Rheological characterization of okra pectins. *Food Hydrocolloids*, 29(2), 356–362. doi:10.1016/j.foodhyd.2012.04.003

Kpodo, *et al.* (2017) Pectin isolation and characterization from six okra genotypes. *Food Hydrocolloids*. 72: 323 – 330. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.014>

Krasaekoopt, W. and Bhatia, S. (2012). Production of Yoghurt Powder Using Foam-Mat Drying. *AU Journal of Technology*, 15(3): 166 - 168

Kumar, S. (2014) Physicochemical, Phytochemical and toxicity studies on gum and mucilage from plant *Abelmoschus esculentus*. *The Journal of Phytopharmacology*. 3(3): 200 – 203

Lau, C. K., & Dickinson, E. (2005). Instability and structural change in an aerated system containing egg albumen and invert sugar. *Food Hydrocolloids*, 19(1), 111–121. doi:10.1016/j.foodhyd.2004.04.020

Leroux, J., Langendorff, V., Schick, G., Vaishnav, V., & Mazoyer, J. (2003). Emulsion stabilizing properties of pectin. *Food Hydrocolloids*, 17, 455–462.

Li, Y., Wang, X., Lv, X., Wang, X., Wang, X., Cui, J., Yan, M. (2020) Extractions and rheological properties of polysaccharide from okra under mild conditions. *International Journal of Biological Macromolecules*. 148: 510 – 517.

Ling, M. y Sulaiman, R. (2017) Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. *LWT - Food Science and Technology*. 88: 80 - 86

Markl, D. y Zeitler, A. (2017) A Review of Disintegration Mechanisms and Measurement Techniques. *Pharm Res*. 34: 890 – 917. DOI 10.1007/s11095-017-2129-z

Marietti, A., Tedeschi, P., Stagno, C., Bordiga, M., Travaglia, F., Locatelli, M., ... Brandolini, V. (2012). Analytical Traceability of Melon (*Cucumis Melo* Var *Reticulatus*): Proximate Composition, Bioactive Compounds, and Antioxidant Capacity in Relation to Cultivar, Plant Physiology State, and Seasonal Variability. *Journal of Food Science*, 77(6), C646–C652. doi:10.1111/j.1750-3841.2012.02712.x

Michailidis, A. y Krokida, M. (2015) *Food Process Engineering Handbook*. Drying of Food. CRC Press. Taylor & Francis Group.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2011) El Agro en Cifras. MAGA. Extraído de: <https://www.maga.gob.gt/wp-content/uploads/pdf/uip/oct13/29/elagroencifras2011.pdf>

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2016) El Agro en Cifras. MAGA. Extraído de: <https://www.maga.gob.gt/download/EI%20agro16.pdf>

Ministerio de Economía (2018) Estudio de mercado: frutas frescas – Estados Unidos. Mineco. Dirección de Análisis Económico. Extraído de: https://www.mineco.gob.gt/sites/default/files/estudio_de_mercado_frutas_frescas_estados_unidos.pdf

Mounir, S. (2017) *Drying Technologies of Foods*. CRC Press.

Moura, P., Mont, L. y Ribeiro, G. (2019): Melon By-Products: Biopotential in Human Health and Food Processing. *Food Reviews International*, DOI: 10.1080/87559129.2019.1613662

Municipalidad de Guatemala (2003) Acuerdo No.COM – 036 – 03. Diario de Centroamérica. 22: 8 – 9.

Muthukumar, A. 2007. Foam-mat freeze drying of egg white and mathematical modeling. McGill University

Nagpal, M., Aggarwal, G., Jain, U. y Madan, J. (2017) Extraction of Gum from *Abelmoschus Esculentus*: Physicochemical Peculiarity And Antioxidant Prepatent. *Asian Journal of Phamaceutical and Clinical Research*. 10 (9): 174 – 179.

Nemeth, B., Lang, P., & Hegely, L. (2020). Optimization of solvent recovery in two batch distillation columns of different size. *Journal of Cleaner Production*, 275, 122746. doi:10.1016/j.jclepro.2020.122746

Nnabuk, O. et al. (2012) Rheological Modeling and Characterization of *Ficus platyphylla* Gum Exudates. *Journal of Chemistry*. DOI: <https://doi.org/10.1155/2013/254347>

Oliveira, S. M., T. R. S. Brandao, and C. L. M. S. (2016). Influence of drying processes and pretreatments on nutritional and bioactive characteristics of dried vegetables: A review. *Food Engineering Reviews*, 8 (2):134–63. doi: 10.1007/s12393-015-9124-0

Olivera, D., *et al.* (2012) Quality Attributes of Okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) Pods affected by cultivar and fruit size. *Journal of Food Research*. 1 (4): 224 – 235. Doi:10.5538/jfr.v1n4p224

Palomo, M. (2021) *Caracterización fisicoquímica, nutricional y funcional de okra (Abelmoschus esculentus) de rechazo y evaluación de su aplicación en formulaciones de Alimentos terapéuticos listos para consumir (ATLC)*. [Trabajo de graduación]. Universidad del Valle de Guatemala. 110 págs.

Pasban, A., Mohebbi, M., Pourazarang, H., Varidi, M. (2014) Effects of endemic hydrocolloids and xanthan gum on foaming properties of white button mushroom puree studied by cluster analysis: A comparative study. *Journal of Taibah University of Science*. 8:31 – 38

Pavani, M. (2019) Studies on Foam-mat drying of Tamarind Pulp. [Maestría]- Universidad de agricultura y tecnología Bhubaneswar. India.

Peñuela, A., Rojas, J., Rocío, C., Aristizábal, G., Chaparro, M., López, J. (2004) *Caracterización de los productos hortifrutícolas colombianos y establecimiento de las normas técnicas de calidad*. SENA/Cenicafé/Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Extraído: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/828/15/Me1%C3%B3n%20variedad%20Cantaloupe.pdf>

Pérez-Jiménez, J., Neveu, V., Vos, F., & Scalbert, A. (2010). Identification of the 100 richest dietary sources of polyphenols: an application of the Phenol-Explorer database. *European Journal of Clinical Nutrition*, 64(S3), S112–S120. doi:10.1038/ejcn.2010.221

Perkins, P., Beaulieu, J., Siddiq, M. (2012) *Watermelon, Cantaloupe and Honeydew in Tropical and Subtropical Fruits Postharvest Physiology, Processing and Packaging*. USA. Wiley – Blackwell. Siddiqu, M. Edition.

Pernell, C. W., Foegeding, E. A., Luck, P. J., & Davis, J. P. (2002). Properties of whey and egg white protein foams. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 204(1-3), 9–21. doi:10.1016/s0927-7757(01)01061-5

Phanindrakumar, H. S., Radhakrishna, K., Mahesh, S., Jagannath, J. H., & Bawa, A. S. (2005). Effect of pretreatments and additives on the thermal behavior and hygroscopicity of freeze-dried pineapple juice powder. *Journal of Food Processing and Preservation*, 29(5-6), 307–318. doi:10.1111/j.1745-4549.2005.00030.x

Portillo, D. (2019) *Manual para la exportación de melón (Cucumis melo) de Honduras al mercado estadounidense*. Trabajo de pregrado. Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

Produce for Better Health Foundation (PBHF) (2015). State of the Plate, 2015 Study on America’s Consumption of Fruit and Vegetables. Produce for Better Health Foundation. Extraído de: <http://www.PBHFoundation.org>

Ptaszek, P., *et al.* (2014) The Physical and Linear Viscoelastic Properties of Fresh Wet Foams Based on Egg White Proteins and Selected Hydrocolloids. *Food Biophysics*. 9: 76-87.

Qadri, O., Srivastava, A. y Yousuf, B. (2017) Trends in foam mat drying of foods: Special emphasis on hybrid foam drying technology. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.15882>

Qhureshi, Z. (2007). *Breeding investigation in bhendi (Abelmoschus esculentus (L.) Moench)*. Master Thesis, University of Agriculture Sciences, GKVK, Bangalore.

Rajkumar, P., R. Kailappan, R. Viswanathan, y G. S. V. Raghavan (2007) Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. *Journal of Food Engineering*, 79(4): 1452–1459.

Ratti, C. & Kudra, T. (2006). Foam-mat drying: Energy and cost analyses. *Canadian Biosystem Engineering*, 48: 27–32.

Ritzoulis, C. (2017) Mucilage formation in food: a review on the example of okra. *International Journal of Food Science and Technology*. 52: 59 – 67.

Rodríguez Patino, J. M., & Pilosof, A. M. R. (2011). *Protein–polysaccharide interactions at fluid interfaces*. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1925–1937. doi:10.1016/j.foodhyd.2011.02.023

Ross, A., Restori, K. (2013) *Vitamin A and the immune system in Diet, Inflammation and immunity*. Woodhead Publishing. Philadelphia.

Sahasi, R. (1975) *Influence of Cultivar, Pod Maturity and Fertilization on Quality of Okra (Abelmoschus Esculentus (L.) Moench)*. LSU Historical Dissertations and Theses. 2836. https://digitalcommons.lsu.edu/gradschool_disstheses/2836

Saifullah, M., Yusof, Y., Chin, N. y Aziz, M. (2016) Physicochemical and flow properties of fruit powder and their effect on the dissolution of fast dissolving fruit powder tablets. *Powder Technology*. 301: 396 – 404.

Salahi, M., Mohebbi, M y Taghizadeh, M. (2014) Foam-mat drying of cantaloupe (cucumis melo): optimization of foaming parameters and investigating drying characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*. doi:10.1111/jfpp.12414

Salahi, M., Mohebbi, M., Taghizadeh, M. (2017) Development of cantaloupe (Cucumis melo) pulp powder using foam-mat drying method. Effects of drying conditions on microstructural of mat and physicochemical properties of powder. *Drying Technology*. 35 (5): 1897 – 1908. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1291518>

Sangamithra, A. (2016) Foam mat drying of muskmelon (*Cucumis melo*) pulp. [Doctor of Philosophy]. Faculty of Technology. Anna University. <http://hdl.handle.net/10603/201372>

Sangamithra, A., Sivakumar, V., Swamy, G., Kannan, K. (2014) FOAM MAT DRYING OF FOOD MATERIALS: A REVIEW. *Journal of Food Processing and Preservation*. doi:10.1111/jfpp.12421

Sangamithra, A., Sivakumar, V., Kannan, K., Swamy, G. (2015) Foam-Mat Drying of Muskmelon. *Int. J. Food Eng.* 11 (1): 127 – 137.

Sankat, C. y Castaigne, F. (2004) Foaming and drying behavior of ripe bananas. *Lebensm. Wiss. Technol.* 37: 517 – 525. doi:10.1016/S0023-6438(03)00132-4

Sarker, M., Hannan, M.A., Quamruzzaman, A., Ali, M. y Khatun, H. (2014) Storage of tomato powder in different packaging materials. *Journal of Agricultural Technology*. 10(3): 595-605

Schmidt, *et al.* (2010) Foaming properties of protein/pectin electrostatic complexes and foam structure at nanoscale. *Journal of Colloid and Interface Science*. 345 (2). DOI: 10.1016/j.jcis.2010.01.016

Secci, G., *et al.* (2020) Quality of Eggs and Albumen Technological Properties as Affected by *Hermetia Illucens* Larvae Meal in Hens'Diet and Hen Age. *Animals*.10 (81); doi:10.3390/ani10010081

Sengkhampan N, Verhoef R, Schols HA, Sajjaanantakul T, Voragen AGJ. (2009). Characterisation of cell wall polysaccharides from okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). *Carbohydrate Research*, 344: 1824–1832. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carres.2008.10.012>.

Sharma, N., Kadam, D., Chadha, S., Wilson, R., Gupta, R. (2013) Influence of particle size on physical and sensory attributes of mango pulp powder. *Int. Agrophys*. 27: 323-328, doi: 10.2478/intag-2013-0001

Solval, K.M.; Sundararajan, S.; Alfaro, L.; Sathivel, S. (2012) Development of cantaloupe (*Cucumis melo*) juice powders using spray drying technology. *LWT - Food Science and Technology* , 46, 287–293

Suleiman, A., Abdalla, S. y Salih, Z. (2013) Effect of conventional and oven drying on the physicochemical properties of two tomato Cultivars Fruit Powder. *Food and Public Health*. 3 (6): 346 – 351.

Suslow, T., Cantwel, M., Mitchell, J. (2002) Cantaloupe. Extraído de: http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores/Fruit_English/?uid=14&ds=798

S&P Global (2018) Platts Global Oxygenated Solvents Price Assessments. *Solventswire*. 41(31): 1 – 10.

Tekpor, S. K. (2011). *Effect of some processing and storage methods on the quality of okra (Abelmoschus esculentus) fruits*. Master Tesis Kwame Nkrumah University of Science and Technology.

Temenouga, V., *et al.* (2016). Novel emulsifiers as products from internal Maillard reactions in okra hydrocolloid mucilage. *Food Hydrocolloids*, 52, 972–981. doi:10.1016/j.foodhyd.2015.08.026

Thuwapanichayanan, R., Prachayawarakorn, S., & Soponronnarit, S. (2012). Effects of foaming agents and foam density on drying characteristics and textural property of banana foams. *LWT - Food Science and Technology*, 47(2), 348–357. doi:10.1016/j.lwt.2012.01.030

Tirira, P. (2014) Secado al vacío mediante espumación del sistema de pulpa de mora con albúmina de huevo. Trabajo de pregrado. Universidad Central del Ecuador.

Treybal, R. (2007) *Operaciones de Transferencia de Masa*. 2da Edición. McGraw-Hill.

Tridge (2021) Real – time Market Prices of Salt. Tridge. Extraído de: <https://www.tridge.com/intelligences/salt/price>.

Ubi, G., Onabe, M., William, U., Omaghomi, J. y Sunday, I. (2016) Preliminary Studies on Fruit Lignification Time Interval and Phenological Traits of Selected Okra (*Abelmoschus esculentus* L Moench) Genotypes Grown in Southern Nigeria. *International Journal of Plant & Soil Science*. 10(2): 1-10

USDA (2019) Melons, cantaloupe, raw. Extraído de: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/746770/nutrients>

USDA (2020). Dairy Market News: Dry Products Price Summary. Report 18. Extraído de: https://www.ams.usda.gov/mnreports/md_da599.txt

USDA (2021) Egg market news report. *Agriculture Marketing Service Livestock, Poultry and Grain Market News*. (68) 4. Extraído de: <https://www.ams.usda.gov/mnreports/pybshellegg.pdf>

Valencia, C. (2013) La ruta del melón. *Corrugando*. 33: 41 – 43. Extraído de: <http://pdf.corrugando.com/CORRUGANDO-33.pdf>

Varhan, E., Elmas, F. y Koç, M. (2019). Foam mat drying of fig fruit: Optimization of foam composition and physicochemical properties of fig powder. *Journal of Food Process Engineering*. 42. doi:e13022. 10.1111/jfpe.13022.

Vargas P., Castoldi R., De Olivera, H., Trevizan L. (2008). Qualidade de melão Rendilhado (*Cucumis melo* L.) em função do sistema de cultivo. *Ciê. Agrot.* 32(1):137-142.

Varzakas, T. y Tzia, C. (2015) *Food engineering handbook: Food Process Engineering*. CRC Press. Taylor & Francis Group.

Wang, L., Gaziano, J., Norkus, E., Buring, J., Sesso, H. (2008) Associations of plasma carotenoids with risk factors and biomarkers related to cardiovascular disease in middle-aged and older women. *Am J Clin Nutr.* 88: 747 – 754

Widoeri, T. y Sriant, I., (2011) Development of Functional Drink Based on Foam-mat Dried Papaya (*Carica Papaya* L.): Optimisation of Foam-mat drying process and its formulation. *International Journal of Food, Nutrition and Public Health*. 4 (2): 167 – 176.

World Health Organization (WHO). (2012) Guideline: Potassium intake for adults and children. Geneva, World Health Organization. Extraído de: https://www.who.int/nutrition/publications/guidelines/potassium_intake_printversion.pdf

World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations (2004) Vitamin and mineral requirements in human nutrition. 2da. Edición. WHO/FAO. Extraído de: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42716/9241546123.pdf?sequence=1>

Xu, K., Guo, M. y Du, J. (2017) Molecular characteristics and rheological properties of water-extractable polysaccharides derived from okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *International Journal of Food Properties*, 20 (1), 899 – 909. DOI: 10.1080/10942912.2017.1315594

Yapo, B. M. (2011). *Rhamnogalacturonan-I: A Structurally Puzzling and Functionally Versatile Polysaccharide from Plant Cell Walls and Mucilages*. *Polymer Reviews*, 51(4), 391–413. doi:10.1080/15583724.2011.615962

Yuan, B., Ritzoulis, C. y Chen, J. (2018) Extensional and shear rheology of okra polysaccharides in the presence of saliva. *Science of Food*. 2 (20). doi:10.1038/s41538-018-0029-1

Zaharuddin, N., Ibrahim, M. y Kadivar, A. (2014) The Use of Hibiscus esculentus (Okra) Gum in Sustaining the Release of Propranolol Hydrochloride in a Solid Oral Dosage Form. *BioMed Research International*. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/735891>

Zhengshan, W. (2013) *Foaming properties of whey protein isolate and λ -carrageenan*. (Tesis de maestria). Universidad de Missouri, Estados Unidos.

Żmudziński, D., *et al.* (2014). The role of hydrocolloids in mechanical properties of fresh foams based on egg white proteins. *Journal of Food Engineering*, 121, 128–134. doi:10.1016/j.jfoodeng.2013.08.020

10. Anexos

10.1 Figuras ilustrativas

Figura 19. Bebida de melón lista para consumir



Figura 20. Nesfruta, bebida saborizada con jugo de melón



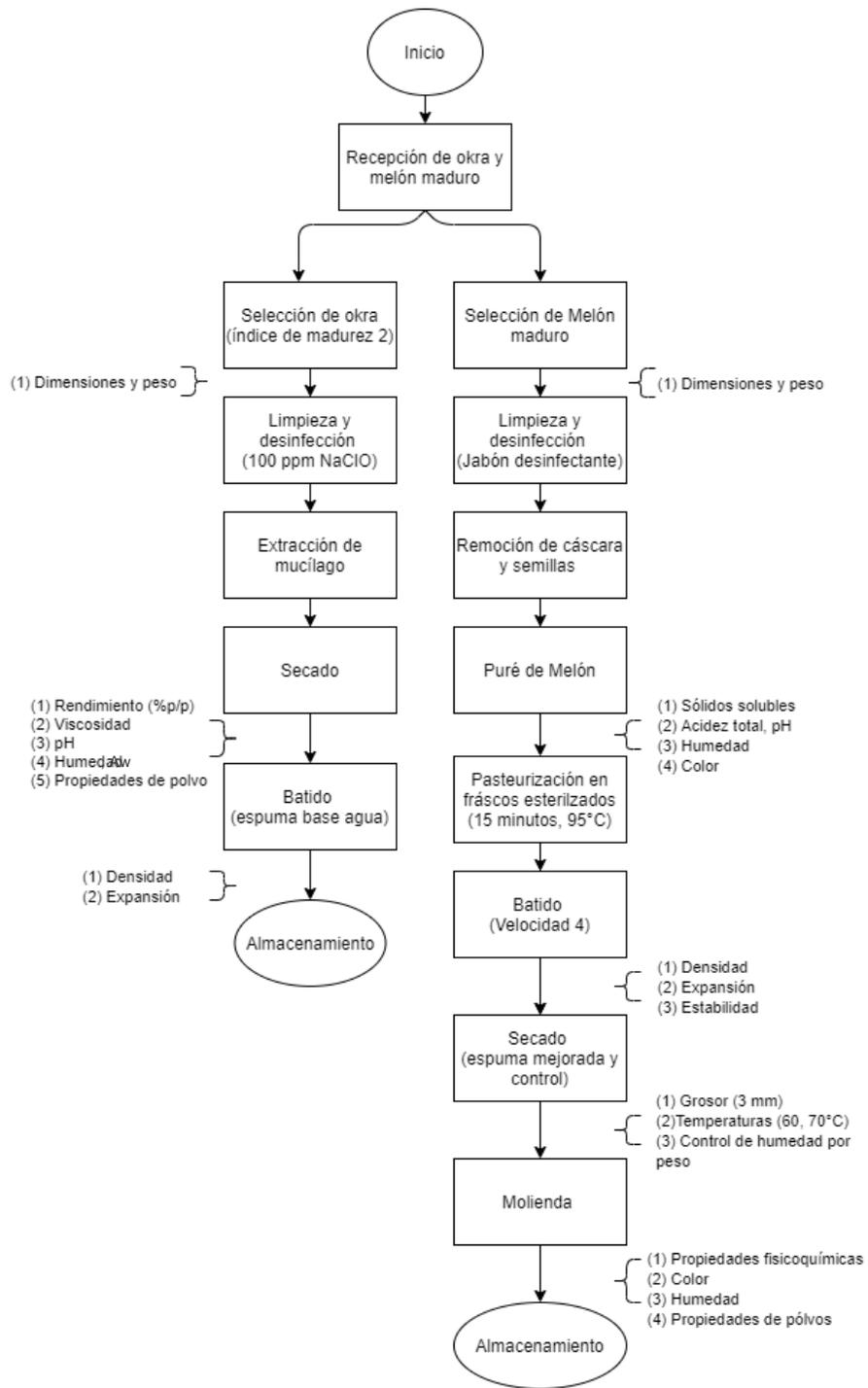
Figura 21. Postre con polvo de melón como saborizante



Figura 22. Té de melón miel



Figura 23. Diagrama de flujo de la metodología



10.2 Cuadros de datos experimentales y análisis estadísticos

Cuadro 24. Comparación de beneficios de los métodos de secado

Método	Mejor calidad	Estable al almacenar	Secado rápido	Secado uniforme	Simplicidad al aplicar	Económico
Secado por espumas	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Liofilización	✓	✓	✓	✓		
Secado por aspersión	✓	✓	✓	✓		
Microondas	✓	✓	✓	✓		

Fuente: Hardy y Jideani (2015)

Cuadro 25. Resultados de la determinación de madurez de la okra

No.	Peso ($\pm 0.01g$)	Largo ($\pm 0.1cm$)	Diámetro ($\pm 0.1cm$)	Ancho de pericarpio ($\pm 0.1cm$)	Textura ($\pm 1 kg$)	Textura ($\pm 1 N$)
1	32.8	16.4	2.32	0.141	5.1	49.98
2	27.2	15.0	2.30	0.17	5.5	53.9
3	31.3	16.0	2.20	0.1	3.9	38.22
4	21.8	12.8	2.30	0.125	5.0	49
5	25.6	14.34	2.10	0.08	5.2	50.96
6	33.3	16.0	2.02	0.14	5.1	49.98
7	30.2	13.3	2.41	0.16	5.6	54.88
8	29.7	14.1	2.54	0.15	4.3	42.14
9	29.6	15.6	2.34	0.14	4.3	42.14
10	22.8	14.5	2.20	0.125	4.0	39.2
11	27.4	14.3	2.50	0.16	6.5	63.7
12	23.9	13.4	2.20	0.14	4.8	47.04
13	20.7	13.0	2.34	0.11	4.3	42.14
14	34.4	15.8	2.11	0.12	5.0	49
15	17.7	12.8	2.52	0.12	4.6	45.08
16	22.7	13.6	1.91	0.10	5.1	49.98
17	24.5	14.0	2.40	0.14	3.9	38.22
18	32.7	15.2	2.20	0.08	4.1	40.18
19	25.7	14.9	2.50	0.13	4.1	40.18
20	32.5	16.9	2.24	0.13	4.8	47.04
21	31.4	16.4	2.41	0.15	4.8	47.04
22	15.3	11.3	2.02	0.10	3.6	35.28
23	18.5	13.7	1.90	0.10	4.5	44.10
24	26.6	13.5	2.26	0.07	5.8	56.84
25	19.5	12.3	2.00	0.12	4.8	47.04
26	18.1	11.9	2.01	0.10	4.6	45.08
27	21.7	13.3	2.13	0.12	4.7	46.06
28	23.7	14.4	2.04	0.12	4.6	45.08
29	23.3	13.8	2.16	0.14	4.2	41.16
30	19.1	14.4	2.00	0.10	3.85	37.73
31	20.4	12.81	1.93	0.12	4.5	44.10
32	32.5	16.4	2.50	0.12	5.2	50.96
33	20.6	12.7	2.00	0.15	4.0	39.20
34	29.5	12.9	2.36	0.10	5.2	50.96
35	29.0	15.6	2.40	0.16	5.5	53.90
36	18.7	12.22	2.08	0.10	3.9	38.22
37	26.7	15.04	2.13	0.12	5.5	53.90
38	33.8	16.4	2.30	0.30	5.8	56.84

Continuación del Cuadro No.25

No.	Peso (±0.01g)	Largo (±0.1cm)	Diámetro (±0.1cm)	Ancho de pericarpio (±0.1cm)	Textura (± 1 kg)	Textura (± 1 N)
39	25.6	12.54	2.15	0.15	5.8	56.84
40	27.3	15.0	2.31	0.12	5.5	53.90
41	36.9	14.6	2.18	0.16	7.0	68.60
42	32.7	16.7	2.46	0.16	5.3	51.94
43	19.2	11.64	2.02	0.13	3.7	36.26
44	20.6	13.82	2.00	0.15	3.5	34.30
45	20.2	14.1	1.83	0.13	4.8	47.04
46	31.1	15.9	2.60	0.135	6.1	59.78
47	23.6	14.42	2.25	0.12	4.5	44.10
48	33.4	14.12	2.64	0.18	5.3	51.94
49	28.2	15.0	2.36	0.16	5.0	49.00
50	31.8	14.5	2.50	0.15	5.4	52.92
Promedio	26.11	14.3	2.23	0.13	4.8	47.46
Desviación estándar	5.53	1.4	0.20	0.03	0.8	7.42

Cuadro 26. Rendimiento del mucílago de okra por lote

No. Batch	Peso de okra (g)	Peso de cáscara (g)	Peso de mucílago seco (g)	Rendimiento de mucílago - A (% p/p)	Rendimiento de mucílago - B (% p/p)
1	1406	1111	14.8	1.05%	1.33%
2		1552	23.2	--	1.49%
Promedio ± desviación estándar					1.41 ± 0.12%

Nota: A = respecto a okra fresca; B = respecto a cáscara de okra

Cuadro 27. Densidad de aparente del polvo de mucílago de okra

No.	Peso (g) (±0.001)	Volumen (mL) (±0.1)	Densidad de bulto (g/mL)
1	3.052	4.9	0.623
2	2.6404	4.3	0.614
3	1.891	3.3	0.573
4	2.1218	3.5	0.606
5	2.7099	4.7	0.577
Promedio			0.599
Desviación estándar			0.022

Cuadro 28. Densidad comprimida del polvo de mucílago de okra

No.	Peso (g) (± 0.001)	Volumen (mL) (± 0.1)	Densidad tapped (g/mL)
1	3.052	4	0.763
2	2.6404	3.4	0.777
3	2.0649	2.6	0.794
4	2.7099	3.3	0.821
5	1.8754	2.3	0.815
Promedio			0.794
Desviación estándar			0.025

Cuadro 29. Determinación de propiedades fisicoquímicas del polvo de mucílago de okra

Propiedad	Tamaño de muestra (g) (± 0.001)	1	2	3	4	5	6	Promedio	Desviación estándar
pH	1.1	5.79	5.78	5.43	5.87	5.31	5.74	5.65	0.23
Humedad (p/p) base húmeda	1.1	7.30%	11.80%	6.40%	--	--	--	8.50%	2.89%
Aw	x	0.458	0.465	0.462	--	--	--	0.462	0.004

Cuadro 30. Distribución másica del tamaño de partícula en el polvo de mucílago de okra

Tamaño de tamiz	Peso de tamiz (g)	Peso final (g)	Peso de polvo (g)	Porcentaje (%)
#25	89.8557	89.8843	0.0286	0.29%
#40	83.997	84.247	0.25	2.50%
#60	80.2286	84.8589	4.6303	46.30%
#80	81.1728	84.2097	3.0369	30.37%
#100	80.2037	80.6504	0.4467	4.47%
#120	79.1586	79.4833	0.3247	3.25%
#200	76.3253	77.1194	0.7941	7.94%
#400	78.3253	78.5493	0.224	2.24%
Base	101.0088	101.0447	0.0359	0.36%

Cuadro 31. Costo de materia prima

Materia prima	Presentación	Costo de presentación (Q)	Costo (Q/kg)
Okra fresca (kg)	0	Q0.00	Q0.00
Agua (kg)	20000	Q16.00	Q0.00
Acetona (kg)	907.19	Q5,363.39	Q5.91
Sal (kg)	1	Q1.32	Q1.32
Metabisulfito de sodio (kg)	1000	Q2,019.07	Q2.02

Fuente: Acetona – precio promedio declarado por S&P Global (2018); Metabisulfito de sodio: Echemi (2021). Sal: Tridge (2021). Agua: Acuerdo No.COM-036-03 (2003).

Nota: No se describe costo de okra fresca puesto que el proveedor lo considera como pérdida del proceso.

Cuadro 32. Costo de producción de un kilogramo de polvo de mucílago de okra en términos de materia prima

Formulación en fresco	Cantidad (kg)*	Formulación (%)	Costo de formulación (Q/kg)	Cantidad (kg)*	Formulación (%)	Costo (solvente reciclado) (Q/kg)
Okra fresca	1	23.5%	0.00	1	15.8%	0.00
Agua	2.1	49.3%	0.18	2.1	33.2%	0.12
Acetona	1.15	27.0%	715.99	3.2	50.7%	24.20
Sal	0.0124	0.29%	1.72	0.0156	0.25%	1.46
Metabisulfito de sodio	0.00124	0.03%	0.26	0.00156	0.02%	0.22
Costo total de materia prima/kg de mucílago**			Q718.15	Q26.01		

Nota:

*Cantidad experimental y teórica de masa a utilizar para la producción de un lote

** Considerando un 1.41% de rendimiento de extracción. Se requieren aproximadamente 71 kg de cáscara de okra fresca para producir 1 kg de mucílago de okra, es decir un lote de 449 kg.

Cuadro 33. Costo de producción de un kilogramo de polvo de mucílago de okra en términos de energía

Proceso	Horas	Capacidad (kg)	Consumo de energía	Costo de energía (Q/kWh)*	Costo (Q/kg)**
Deshidratación	12	2	120V/60Hz 400W	0.4	Q0.96

*Por ahora, no se considera el trabajo manual de: corte, hidratación y filtración de cáscara

**Fuente: ENERGUATE, costo por consumo de 0 a 60 kWh sin IVA

*** kg de mucílago de okra fresca

Cuadro 34. Determinación de la densidad y expansión de la espuma base agua.

Porcentaje de sustitución del espumante	No.	Densidad espuma (g/mL)	Expansión (%)
0%	1	0.181	257%
	2	0.201	243%
	3	0.152	326%
20% (20g)	1	0.267	210%
	2	0.275	181%
	3	0.292	181%
30% (10g)	1	0.164	305%
	4	0.159	290%
	5	0.166	286%
40%	1	0.131	420%
	2	0.116	495%
	3	0.126	447%
50%	1	0.241	216%
	2	0.191	216%
	3	0.234	259%

Cuadro 35. ANOVA de la densidad de la espuma, base agua

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Porcentaje de sustitución (%)	0.04162501	4	0.010406253	32.8228983	1.00269E-05	3.478049691
Dentro de los grupos	0.00317042	10	0.000317042			
Total	0.04479544	14				

Nota: para un nivel de confianza de 95%

Cuadro 36. Análisis de Tukey sobre el efecto del porcentaje de sustitución en la densidad de la espuma, base agua

Grupo 1	Grupo 2	Promedio	Erro. Est.	q-stat	min.	max.	valor - p	mean-crit	Cohen d	Resultados/Interpretación
0%	20%	0.09981	0.01149	8.684027587	0.04776	0.15186	0.00124809	0.05205	5.01373	Sí hay diferencia significativa
0%	30%	0.01502	0.01149	1.307025557	-0.03703	0.06708	0.79324941	0.05205	0.75461	No hay diferencia significativa
0%	40%	0.05373	0.01149	4.674817749	0.00168	0.10578	0.0432508	0.05205	2.69901	Sí hay diferencia significativa
0%	50%	0.04385	0.01149	3.814843864	-0.00821	0.0959	0.10194055	0.05205	2.2025	No hay diferencia significativa
20%	30%	0.11483	0.01149	9.991053144	0.06278	0.16689	0.0004823	0.05205	5.76834	Sí hay diferencia significativa
20%	40%	0.15354	0.01149	13.35884534	0.10149	0.20559	6.0292E-05	0.05205	7.71273	Sí hay diferencia significativa
20%	50%	0.0559641	0.01149	4.869183723	0.00391	0.10802	0.03569238	0.05205	2.81122	Sí hay diferencia significativa
30%	40%	0.0387078	0.01149	3.367792192	-0.01335	0.09076	0.15840604	0.05205	1.9444	No hay diferencia significativa
30%	50%	0.0588683	0.01149	5.121869421	0.00681	0.11092	0.0278625	0.05205	2.95711	Sí hay diferencia significativa
40%	50%	0.0975761	0.01149	8.489661614	0.04552	0.14963	0.00144936	0.05205	4.90151	Sí hay diferencia significativa

Nota: para un nivel de confianza de 95%

Cuadro 37. ANOVA de la expansión de la espuma, base agua

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	12.166	4	3.041	34.222	8.28E-06	3.478
Dentro de los grupos	0.889	10	0.089			
Total	13.055	14				

Nota: para un nivel de confianza de 95%

Cuadro 38. Análisis de Tukey sobre el efecto del porcentaje de sustitución en la expansión de la espuma, base agua

Grupo 1	Grupo 2	Promedio	Erro. Est.	q-stat	min.	max.	valor - p	mean-crit	Cohen d	Resultados/Interpretación
0%	20%	84.4%	0.1721	4.9063	0.0434	1.6455	0.0379	0.8010	2.8327	Sí hay diferencia significativa
0%	30%	18.6%	0.1721	1.0780	-0.6155	0.9866	0.9358	0.8010	0.6224	No hay diferencia significativa
0%	40%	178.8%	0.1721	10.3855	0.9865	2.5886	0.0002	0.8010	5.9961	Sí hay diferencia significativa
0%	50%	45.2%	0.1721	2.6244	-0.3493	1.2528	0.3967	0.8010	1.5152	No hay diferencia significativa
20%	30%	103.0%	0.1721	5.9844	0.2290	1.8311	0.0118	0.8010	3.4551	Sí hay diferencia significativa
20%	40%	263.2%	0.1721	15.2918	1.8310	3.4331	0.0000	0.8010	8.8288	Sí hay diferencia significativa
20%	50%	39.3%	0.1721	2.2819	-0.4083	1.1938	0.5214	0.8010	1.3175	No hay diferencia significativa
30%	40%	160.2%	0.1721	9.3075	0.8010	2.4030	0.0005	0.8010	5.3737	Sí hay diferencia significativa
30%	50%	63.7%	0.1721	3.7024	-0.1638	1.4383	0.1399	0.8010	2.1376	No hay diferencia significativa
40%	50%	223.9%	0.1721	13.0099	1.4382	3.0403	0.0000	0.8010	7.5113	Sí hay diferencia significativa

Nota: para un nivel de confianza de 95%

Cuadro 39. Evaluación de la proporción de pulpa, semilla y cáscara por melón

No.melón	Proporción de semillas (%) (p/p)	Proporción de cáscara (%) (p/p)	Proporción de pulpa (%) (p/p)
1	6.9%	31.6%	60.9%
2	4.2%	29.1%	65.8%
3	5.4%	28.6%	65.4%
4	2.3%	38.2%	59.0%
Promedio	4.7%	31.9%	62.8%
Desviación estándar	1.9%	4.4%	3.3%

Cuadro 40. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y tiempo de batido en la densidad, espuma de melón

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Porcentaje de sustitución (%)	0.038	2	0.019	33.161	9.2032E-07	3.555
Tiempo de batido (min)	0.022	2	0.011	18.739	3.9841E-05	3.555
Interacción	0.036	4	0.009	15.563	1.1467E-05	2.928
Dentro del grupo	0.010	18	0.001			
Total	0.106	26				

Nota: para un nivel de confianza de 95%

Cuadro 41. Análisis de Tukey sobre efecto del porcentaje de sustitución y tiempo de batido en la densidad de la espuma de melón (efectos principales)

Grupo 1	Grupo 2	Promedio	Erro. Est.	q-stat	min.	max.	valor - p	mean-crit	Cohen d	Resultados/Interpretación
0%	30%	0.079	0.01	9.929	0.029	0.051	0.108	4E-06	3E+00	Sí hay diferencia significativa
0%	45%	0.001	0.01	0.089	0.029	-0.028	0.030	1E+00	3E-02	No hay diferencia significativa
30%	45%	0.080	0.01	10.018	0.029	0.051	0.109	4E-06	3E+00	Sí hay diferencia significativa
5 min	8 min	0.067	0.01	8.318	0.029	0.038	0.095	4E-05	3E+00	Sí hay diferencia significativa
5 min	12 min	0.050	0.01	6.239	0.029	0.021	0.079	9E-04	2E+00	Sí hay diferencia significativa
8 min	12 min	0.017	0.01	2.078	0.029	-0.012	0.046	3E-01	7E-01	No hay diferencia significativa

Nota: para un nivel de confianza de 95%

Cuadro 42. Análisis de Tukey sobre efecto de la interacción entre el porcentaje de sustitución y tiempo de batido en la densidad de la espuma de melón

Grupo1:Grupo2	Grupo1:Grupo2	valor - p	Interpretación
30%:5min	0%:5min	0.000	Sí hay diferencia significativa
	0%:8min	0.809	No hay diferencia significativa
	0%:12 min	1.000	No hay diferencia significativa
30%:8min	0%:5min	0.000	Sí hay diferencia significativa
	0%:8min	0.388	No hay diferencia significativa
	0%:12 min	0.994	No hay diferencia significativa
30%:12min	0%:5min	0.000	Sí hay diferencia significativa
	0%:8min	0.069	No hay diferencia significativa
	0%:12 min	0.648	No hay diferencia significativa
30%:5min	30%:8min	0.997	No hay diferencia significativa
30%:5min	30%:12min	0.702	No hay diferencia significativa
30%:8min	30%:12min	0.977	No hay diferencia significativa
45%:5min	0%:5min	0.008	Sí hay diferencia significativa
	0%:8min	0.552	No hay diferencia significativa
	0%:12 min	0.051	No hay diferencia significativa
45%:8min	0%:5min	0.000	Sí hay diferencia significativa
	0%:8min	0.981	No hay diferencia significativa
	0%:12 min	1.000	No hay diferencia significativa
45%:12min	0%:5min	0.349	No hay diferencia significativa
	0%:8min	0.017	Sí hay diferencia significativa
	0%:12 min	0.001	Sí hay diferencia significativa
45%:5min	45%:8min	0.124	No hay diferencia significativa
45%:5min	45%:12min	0.542	No hay diferencia significativa
45%:8min	45%:12min	0.002	Sí hay diferencia significativa
0%:5min	0%:8min	0.000	Sí hay diferencia significativa
0%:5min	0%:12min	0.000	Sí hay diferencia significativa
0%:8min	0%:12min	0.851	No hay diferencia significativa
45%:5min	30%:5min	0.043	Sí hay diferencia significativa
	30%:8min	0.010	Sí hay diferencia significativa
	30%:12min	0.001	Sí hay diferencia significativa
45%:8min	30%:5min	1.000	No hay diferencia significativa
	30%:8min	0.918	No hay diferencia significativa
	30%:12min	0.375	No hay diferencia significativa
45%:12min	30%:5min	0.001	Sí hay diferencia significativa
	30%:8min	0.000	Sí hay diferencia significativa
	30%:12min	0.000	Sí hay diferencia significativa

Nota: para un nivel de confianza de 95%

Cuadro 43. Análisis de Tukey sobre efecto del porcentaje de sustitución y tiempo de batido en la expansión de la espuma de melón (efectos principales)

Grupo 1	Grupo 2	Promedio	Erro. Est.	q-stat	min.	max.	valor - p	mean-crit	Cohen d	Resultados/Interpretación
0%	30%	72.8%	0.123	5.904	0.445	0.283	1.173	0.002	1.968	Sí hay diferencia significativa
0%	45%	8.2%	0.123	0.667	0.445	-0.363	0.528	0.885	0.222	No hay diferencia significativa
30%	45%	81.1%	0.123	6.571	0.445	0.365	1.256	0.001	2.190	Sí hay diferencia significativa
5 min	8 min	74.3%	0.123	6.020	0.445	0.297	1.188	0.001	2.007	Sí hay diferencia significativa
5 min	12 min	67.2%	0.123	5.447	0.445	0.227	1.117	0.003	1.816	Sí hay diferencia significativa
8 min	12 min	7.1%	0.123	0.573	0.445	-0.375	0.516	0.914	0.191	No hay diferencia significativa

Nota: para un nivel de confianza de 95%

Cuadro 44. Efecto del tiempo de batido en la espuma de melón con únicamente albúmina de huevo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	16.80	1	16.80	1.16	0.343	7.71
Dentro de los grupos	58.11	4	14.53			
Total	74.91	5				

Nota: para un nivel de confianza de 95%

Cuadro 45. Densidad y expansión de espumas de melón para deshidratación

Temperatura	Matriz	Densidad espuma (g/mL)	Expansión (%)	
60°C		0.399	199%	
		EW	0.459	183%
			0.439	218%
	EW/MO		0.362	189%
			0.368	188%
			0.402	154%
70°C		0.605	169%	
		EW	0.548	169%
			0.434	184%
	EW/MO		0.350	166%
			0.211	221%
			0.379	152%

Cuadro 46. ANOVA de dos factores sobre el efecto del agente espumante y temperatura de secado en el tiempo de secado

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	<i>Interpretación</i>
Agente espumante	112.5	1	112.5	0.474	0.529	7.709	No hay diferencia significativa
Temperatura	2112.5	1	2112.5	8.895	0.041	7.709	SÍ hay diferencia significativa
Agente espumante: temperatura	12.5	1	12.5	0.053	0.830	7.709	No hay diferencia significativa
Dentro del grupo	950	4	237.5				
Total	3187.5	7					

Cuadro 47. Razón de secado y humedad en base seca respecto al tiempo para la espuma de melón EW/MO secada a 60°C

Tiempo de secado (min)	Razón de secado (kg/m ² h)		Promedio	Humedad base seca (kg agua/ kg base seca)		Promedio
	1	2		1	2	
	0				0.000	
30	0.989	0.887	0.938	5.004	3.353	4.179
60	0.525	0.364	0.444	2.881	2.199	2.540
90	0.507	0.433	0.470	0.831	0.827	0.829
120	0.110	0.119	0.115	0.384	0.450	0.417
125	0.141	0.220	0.180	0.290	0.334	0.312
130	0.081	0.115	0.098	0.235	0.273	0.254
135	0.030	0.107	0.068	0.215	0.216	0.216
140	0.044	0.093	0.068	0.185	0.167	0.176
145	0.007	0.065	0.036	0.181	0.133	0.157
150		0.040	0.040		0.112	0.112
155		0.018	0.018		0.102	0.102
160		0.028	0.028		0.087	0.087

Cuadro 48. Razón de secado y humedad en base seca respecto al tiempo para la espuma de melón EW/MO secada a 70°C

Tiempo de secado (min)	Razón de secado (kg/m ² h)		Promedio	Humedad base seca (kg agua/ kg base seca)		Promedio
	1	2		1	2	
0				6.128	5.977	6.053
15	0.879	0.755	0.817	4.886	4.547	4.716
30	0.780	0.686	0.733	3.758	3.278	3.518
35	--	0.719	0.719	3.364	3.251	3.307
40	--	0.715	0.715	2.971	2.430	2.701
45	0.666	0.608	0.637	2.638	2.069	2.353
50	0.577	0.578	0.577	2.321	1.756	2.038
55	0.503	0.552	0.527	2.018	1.483	1.751
60	0.579	0.699	0.639	1.635	1.169	1.402
65	0.390	0.479	0.434	1.372	0.958	1.165
70	0.392	0.533	0.463	1.080	0.745	0.913
75	0.366	0.422	0.394	0.848	0.547	0.698
80	0.225	0.414	0.320	0.621	0.425	0.523
85	0.195	0.380	0.287	0.413	0.319	0.366
90	0.151	0.309	0.230	0.243	0.237	0.240
95	0.076	0.147	0.112	0.162	0.196	0.179
100	0.072	0.067	0.070	0.126	0.157	0.141
105	0.028	0.042	0.035	0.103	0.141	0.122
110	0.040	0.008	0.024	0.098	0.120	0.109
115	0.026	0.018	0.022	0.088	0.105	0.097
120	0.004		0.004		0.103	0.057
125	0.004		0.004		0.101	0.101
130	0.004		0.004		0.099	0.099

Cuadro 49. Razón de secado y humedad en base seca respecto al tiempo para la espuma de melón EW secada a 60°C

Tiempo de secado (min)	Razón de secado (kg/m ² h)		Promedio	Humedad base seca (kg agua/ kg base seca)		Promedio
	1	2		1	2	
	0				1.042	
5	0.786	1.299	0.892	5.355	5.362	5.359
10	0.788	0.995	0.805	5.007	4.902	4.955
15	0.749	0.862	0.853	4.676	4.504	4.590
20	0.782	0.923	0.860	4.331	4.078	4.204
25	0.753	0.966	0.794	3.998	3.631	3.815
30	0.726	0.862	0.781	3.678	3.233	3.455
35	0.739	0.823	0.738	3.351	2.853	3.102
40	0.714	0.761	0.704	3.036	2.501	2.769
45	0.648	0.759	0.664	2.750	2.150	2.450
50	0.648	0.679	0.499	2.463	1.836	2.150
55	0.499	0.499	0.567	2.243	1.606	1.925
60	0.577	0.558	0.555	1.988	1.348	1.668
65	0.556	0.554	0.494	1.743	1.092	1.418
70	0.534	0.453	0.456	1.507	0.883	1.195
75	0.484	0.427	0.423	1.293	0.686	0.990
80	0.478	0.367	0.344	1.082	0.516	0.799
85	0.412	0.275	0.294	0.900	0.389	0.645
90	0.386	0.203	0.246	0.730	0.295	0.512
95	0.324	0.168	0.222	0.587	0.217	0.402
100	0.322	0.121	0.166	0.444	0.161	0.303
105	0.250	0.082	0.113	0.334	0.123	0.229
110	0.174	0.051	0.090	0.257	0.100	0.178
115	0.148	0.033	0.044	0.192	0.085	0.138
120	0.084	0.004	0.034	0.154	0.083	0.119
125	0.066	0.002	0.030	0.125	0.082	0.104
130	0.043	0.016	0.039	0.106	0.074	0.090
135	0.039		0.016	0.089		0.089
140	0.016		0.014	0.082		0.082
145	0.014		0.029	0.076		0.076
150	0.029		0.025	0.063		0.063
155	0.025		0.004	0.052		0.052
160	0.004		0.002	0.050		0.050
165	0.002			0.049		0.049

Cuadro 50. Razón de secado y humedad en base seca respecto al tiempo para la espuma de melón EW secada a 70°C

Tiempo de secado (min)	Razón de secado (kg/m ² h)			Humedad base seca (kg agua/ kg base seca)		
			Promedio			Promedio
	1	2		1	2	
0				5.658	5.590	5.624
5	0.819	0.722	0.771	5.310	5.222	5.266
10	0.923	0.700	0.812	4.973	4.808	4.890
15	0.896	0.700	0.798	4.635	4.405	4.520
20	0.921	0.734	0.828	4.281	3.991	4.136
25	0.915	0.681	0.798	3.954	3.580	3.767
30	0.879	0.681	0.780	3.626	3.186	3.406
35	0.857	0.657	0.757	3.309	2.800	3.055
40	0.800	0.623	0.711	3.009	2.441	2.725
45	0.762	0.621	0.691	2.710	2.099	2.404
50	0.736	0.591	0.664	2.425	1.768	2.097
55	0.734	1.222	0.978	1.837	1.438	1.638
60	0.625	0.478	0.552	1.607	1.157	1.382
65	0.483	0.462	0.472	1.384	0.940	1.162
70	0.466	0.454	0.460	1.166	0.731	0.948
75	0.432	0.462	0.447	0.943	0.537	0.740
80	0.340	0.412	0.376	0.745	0.384	0.564
85	0.270	0.344	0.307	0.579	0.263	0.421
90	0.170	0.507	0.339	0.334	0.186	0.260
95	0.187	0.183	0.185	0.246	0.102	0.174
100	0.079	0.149	0.114	0.174	0.067	0.121
105	0.006	0.107	0.057	0.123	0.064	0.093
110		0.044	0.044	0.102		0.102
115		0.074	0.074	0.066		0.066
120		0.028	0.028	0.053		0.053

Cuadro 51. Determinación de densidad de aparente y densidad comprimida

Tratamiento	Matriz	Densidad aparente			Densidad comprimida		Ratio de Hausner
		Peso (g)	Volumen (mL)	Densidad aparente (g/mL)	Volumen (mL)	Densidad comprimida (g/mL)	
60°C	EW	1	2.2	0.455	1.6	0.625	1.375
		1	2.25	0.444	1.6	0.625	1.406
	EW/MO	1	2	0.500	1.55	0.645	1.290
		1	2.05	0.488	1.55	0.645	1.323
70°C	EW	1	2.15	0.465	1.6	0.625	1.344
		1	2.2	0.455	1.6	0.625	1.375
	EW/MO	1	2	0.500	1.6	0.625	1.250
		1	2	0.500	1.6	0.625	1.250

Cuadro 52. Distribución másica del tamaño de partícula en el polvo de melón EW/MO a 60°C

Tamiz	Peso inicial de tamiz (±0.0001g)	Peso final de tamiz (±0.0001g)	Porcentaje (%)
#25	89.8581	91.8578	20.0%
#40	84.0021	84.7825	7.8%
#60	80.2333	85.2536	50.2%
#80	81.1765	82.1053	9.3%
#100	80.2065	80.6227	4.2%
#120	79.1615	79.6351	4.7%
#200	76.1025	76.4604	3.6%
#400	78.3251	78.3321	0.1%
Base	101.0096	101.0326	0.2%

Cuadro 53. Distribución másica del tamaño de partícula en el polvo de melón EW/MO a 70°C

Tamiz	Peso inicial de tamiz (±0.0001g)	Peso final de tamiz (±0.0001g)	Porcentaje (%)
#25	89.8574	90.5436	6.8%
#40	84.0013	84.4137	4.1%
#60	80.2358	86.3758	60.7%
#80	81.1775	82.4555	12.6%
#100	80.2114	80.6487	4.3%
#120	79.1605	79.9509	7.8%
#200	76.101	76.4431	3.4%
#400	78.3258	78.3509	0.2%
Base	101.0093	101.0253	0.2%

Cuadro 54. Distribución másica del tamaño de partícula en el polvo de melón EW a 60°C

Tamiz	Peso inicial de tamiz (±0.0001g)	Peso final de tamiz (±0.0001g)	Porcentaje (%)
#25	89.8558	90.0076	1.5%
#40	83.9993	84.0845	0.9%
#60	80.2316	84.3166	40.8%
#80	81.1753	86.0999	49.2%
#100	80.2057	80.5837	3.8%
#120	79.1615	79.6237	4.6%
#200	76.1033	76.8307	7.3%
#400	78.3252	78.4099	0.8%
Base	101.0086	101.1152	1.1%

Cuadro 55. Distribución másica del tamaño de partícula en el polvo de melón EW a 70°C

Tamiz	Peso inicial de tamiz (±0.0001g)	Peso final de tamiz (±0.0001g)	Porcentaje (%)
#25	89.8609	89.9478	0.9%
#40	84.0031	84.0988	1.0%
#60	80.2353	85.6722	54.4%
#80	81.1785	83.6544	24.8%
#100	80.2086	80.6011	3.9%
#120	79.1621	79.6177	4.6%
#200	76.1052	76.9837	8.8%
#400	78.3268	78.4438	1.2%
Base	101.0091	101.0847	0.8%

Cuadro 56. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en la solubilidad del polvo de melón

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	Interpretación
SST	0.0011067	1	0.0011067	0.5389455	0.483828438	5.317655072	No hay diferencia significativa
Temperatura	0.0006134	1	0.0006134	0.2987138	0.599597696	5.317655072	No hay diferencia significativa
Interacción	0.0006834	1	0.0006834	0.3328058	0.579878208	5.317655072	No hay diferencia significativa
Dentro del grupo	0.0164282	8	0.0020535				
Total	0.0188317	11					

Nota: para un nivel de confianza de 95%. SST = Porcentaje de sustitución.

Cuadro 57. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en el tiempo de reconstitución del polvo de melón

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	Interpretación
SST	63220.1	1	63220.083	12.482	0.008	5.318	Sí hay diferencia significativa
Temperatura	8374.1	1	8374.083	1.653	0.234	5.318	No hay diferencia significativa
Interacción	3168.8	1	3168.750	0.626	0.452	5.318	No hay diferencia significativa
Dentro del grupo	40520.0	8	5065.000				
Total	115282.917	11					

Nota: para un nivel de confianza de 95%. SST = Porcentaje de sustitución.

Cuadro 58. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en el pH del polvo de melón

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	Interpretación
SST	0.025	1	0.025	4.279	0.072	5.318	No hay diferencia significativa
Temperatura	0.000	1	0.000	0.001	0.971	5.318	No hay diferencia significativa
Interacción	0.000	1	0.000	0.013	0.913	5.318	No hay diferencia significativa
Dentro del grupo	0.047	8	0.006				
Total	0.072	11					

Nota: para un nivel de confianza de 95%. SST = Porcentaje de sustitución.

Cuadro 59. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en los sólidos solubles del polvo de melón

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	Interpretación
SST	0.441	1	0.441	3.599	0.094	5.318	No hay diferencia significativa
Temperatura	0.041	1	0.041	0.333	0.580	5.318	No hay diferencia significativa
Interacción	0.187	1	0.187	1.531	0.251	5.318	No hay diferencia significativa
Dentro del	0.980	8	0.123				
Total	1.649	11					

Nota: para un nivel de confianza de 95%. SST = Porcentaje de sustitución.

Cuadro 60. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en la acidez titulable del polvo de melón

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	Interpretación
SST	3.41E-08	1	3.41E-08	0.680	0.433	5.318	No hay diferencia significativa
Temperatura	1.23E-08	1	1.23E-08	0.245	0.634	5.318	No hay diferencia significativa
Interacción	1.37E-09	1	1.37E-09	0.027	0.873	5.318	No hay diferencia significativa
Dentro del grupo	4.01E-07	8	5.02E-08				
Total	4.49E-07	11					

Nota: para un nivel de confianza de 95%. SST = Porcentaje de sustitución.

Cuadro 61. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en la luminosidad (L*) del polvo de melón

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	Interpretación
SST	269.6112	1	269.6112	2063.74587	6.089E-11	5.31765507	Sí hay diferencia significativa
Temperatura	0.021675	1	0.021675	0.16591185	0.69445234	5.31765507	No hay diferencia significativa
Interacción	0.85333333	1	0.85333333	6.53186196	0.03387018	5.31765507	Sí hay diferencia significativa
Dentro del grupo	1.04513333	8	0.13064167				
Total	271.531342	11					

Nota: para un nivel de confianza de 95%. SST = Porcentaje de sustitución.

Cuadro 62. Análisis de Tukey sobre la interacción del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en la luminosidad del polvo de melón.

Grupo1:Grupo2	Grupo1:Grupo2	valor - p	Interpretación
EW/MO:60°C	EW:60°C	0.000	Sí hay diferencia significativa
	EW:70°C	0.000	Sí hay diferencia significativa
EW/MO:70°C	EW:60°C	0.000	Sí hay diferencia significativa
	EW:70°C	0.000	Sí hay diferencia significativa
EW/MO:60°C	EW/MO:70°C	0.470	No hay diferencia significativa
EW:60°C	EW:70°C	0.233	No hay diferencia significativa

Nota: para un nivel de confianza de 95%; SST = Porcentaje de sustitución

Cuadro 63. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado el valor a* del polvo de melón

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	Interpretación
SST	10.425352	1	10.425352	16.318936	0.0037375	5.3176551	Sí hay diferencia significativa
Temperatura	0.2041021	1	0.2041021	0.3194836	0.5874149	5.3176551	No hay diferencia significativa
Interacción	1.3101021	1	1.3101021	2.0507194	0.1900234	5.3176551	No hay diferencia significativa
Dentro del grupo	5.1108	8	0.63885				
Total	17.050356	11					

Nota: para un nivel de confianza de 95%. SST = Porcentaje de sustitución.

Cuadro 64. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado el valor b* del polvo de melón

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	Interpretación
SST	35.295	1	35.295	45.354	0.000	5.318	Sí hay diferencia significativa
Temperatura	1.880	1	1.880	2.416	0.159	5.318	No hay diferencia significativa
Interacción	1.703	1	1.703	2.188	0.177	5.318	No hay diferencia significativa
Dentro del grupo	6.226	8	0.778				
Total	45.103	11					

Nota: para un nivel de confianza de 95%. SST = Porcentaje de sustitución.

Cuadro 65. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en el matiz del polvo de melón

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	Interpretación
SST	83.6210	1	83.621	338.773	0.000	5.318	Sí hay diferencia significativa
Temperatura	0.1632	1	0.163	0.661	0.440	5.318	No hay diferencia significativa
Interacción	0.3492	1	0.349	1.415	0.268	5.318	No hay diferencia significativa
Dentro del grupo	1.9747	8	0.247				
Total	86.1081	11					

Nota: para un nivel de confianza de 95%. SST = Porcentaje de sustitución.

Cuadro 66. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en la saturación del polvo de melón

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	Interpretación
SST	12.139	1	12.14	9.31	0.02	5.32	Sí hay diferencia significativa
Temperatura	1.953	1	1.95	1.50	0.26	5.32	No hay diferencia significativa
Interacción	2.961	1	2.96	2.27	0.17	5.32	No hay diferencia significativa
Dentro del grupo	10.429	8	1.30				
Total	27.483	11					

Nota: para un nivel de confianza de 95%. SST = Porcentaje de sustitución.

Cuadro 67. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en la densidad aparente del polvo de melón

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	Interpretación
SST	0.0035766	1	0.004	78.933	0.001	7.709	Sí hay diferencia significativa
Temperatura	0.00013503	1	0.000	2.980	0.159	7.709	No hay diferencia significativa
Interacción	8.9818E-06	1	0.000	0.198	0.679	7.709	No hay diferencia significativa
Dentro del grupo	0.00018125	4	0.000				
Total	0.00390186	7					

Nota: para un nivel de confianza de 95%. SST = Porcentaje de sustitución.

Cuadro 68. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en la relación de Hausner del polvo de melón

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	Interpretación
SST	0.019	1	0.019	50.05	0.00	7.71	Sí hay diferencia significativa
Temperatura	0.004	1	0.004	10.28	0.03	7.71	Sí hay diferencia significativa
Interacción	0.000	1	0.000	0.85	0.41	7.71	No hay diferencia significativa
Dentro del grupo	0.001	4	0.000				
Total	0.024	7					

Nota: para un nivel de confianza de 95%. SST = Porcentaje de sustitución.

Cuadro 69. ANOVA del efecto del porcentaje de sustitución y temperatura de secado en la humedad del polvo de melón.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	Interpretación
SST	0.002	1	0.002	2.899	0.164	7.709	No hay diferencia significativa
Temperatura	0.002	1	0.002	2.048	0.226	7.709	No hay diferencia significativa
Interacción	0.001	1	0.001	1.646	0.269	7.709	No hay diferencia significativa
Dentro del grupo	0.003	4	0.001				
Total	0.009	7					

Nota: para un nivel de confianza de 95%. SST = Porcentaje de sustitución.

10.3 Cálculos complejos

Cálculo 1. Costo de la acetona reciclada

1. Reformular para que la solución lista para la extracción (sin considerar okra) consista en un 60% acetona

$$\text{Solución nueva: } \% \text{ okra} + 39.50\% (\text{agua}) + 60.18\% (\text{acetona}) + 0.29\% (\text{sal}) + 0.03\% (\text{MS}) = 100.00\%$$

Nota: La formulación para la extracción de mucílago de okra se describe en el Cuadro No. 32. Donde MS es Metabisulfito de sodio.

2. El costo de la acetona por kilogramo de polvo de mucílago de okra depende del rendimiento (1.41% p/p), se determinaron los kg de okra fresca para producir 1 kg de polvo de mucílago.

$$1 \text{ kg polvo de mucilago} * \frac{100 \text{ kg okra fresca}}{1.41 \text{ kg polvo de mucilago}} = 70.92 \text{ kg okra fresca}$$

$$100\% * \frac{70.92 \text{ kg okra}}{15.8\%} = 449 \text{ kg lote para 1 kg de polvo}$$

Nota: El porcentaje de okra fresca en la formulación del lote se describe en el Cuadro No.32

3. Para 1 kg de polvo de mucílago de okra se requiere un lote de 449 kg. El 98.2% de la acetona se reutiliza, entonces en el costo del mucílago de okra se considera únicamente el 1.8% del costo de la acetona (Nemeth, Lang y Hegely, 2020):

$$\begin{aligned} \text{Costo de acetona} &= \frac{50.7 \text{ kg acetona}}{\text{kg lote}} * 449 \text{ kg lote} * \frac{Q5.91}{\text{kg acetona}} * 1.8 \\ &= Q24.20 \text{ acetona para 1 kg de polvo de mucilago} \end{aligned}$$

Nota: El costo de la acetona y el resto de ingrediente se describe en el Cuadro No.31

4. La suma del costo de cada ingrediente o reactivo para determinar el costo para producir 1 kg de polvo de mucílago de okra:

$$\begin{aligned} &= 0.000 (\text{okra}) + 0.12 (\text{agua}) + 24.20 (\text{acetona}) + 1.14 (\text{sal}) + 0.22 (\text{MS}) \\ &= Q25.69 \text{ kg de mucilago de okra} \end{aligned}$$

Cálculo 2. Costo de secar mucílago de okra en secador por lotes

1. Determinar la cantidad de mucílago de okra fresca que debe extraerse para obtener 1 kg de mucílago de okra en polvo. Considerando que la humedad es de 80%.

$$1 \text{ kg polvo de MO} * \frac{100 \text{ kg MO}}{20 \text{ kg polvo de MO}} = 5 \text{ kg de mucilago fresco}$$

Las siglas MO significan “mucílago de okra”

2. Determinar el costo de deshidratar cada kilogramo de mucílago de okra

$$\text{Costo energético} \left(\frac{Q}{kg} \right) = \frac{T * E}{C} = \frac{12 h * 0.4 \frac{Q}{kWh}}{2 kg} = \frac{Q0.96}{kg}$$

Donde: T significa tiempo de secado, E significa el costo de la energía, C significa capacidad del deshidratador.

Nota: Los datos utilizados para el cálculo se describen en el Cuadro No.33.

3. El costo de deshidratación de los 5 kg de mucílago de okra fresco es:

$$5 kg MO * \frac{Q0.96}{kg MO} = Q4.80$$