

**COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE SECADO VENTANA REFRACTIVA Y
CONVECCIÓN FORZADA EN FRUTAS TROPICALES**

IVÁN MAURICIO ROSERO CHAMORRO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERIAS

MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES

MEDELLÍN

2018

**COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE SECADO VENTANA REFRACTIVA Y
CONVECCIÓN FORZADA EN FRUTAS TROPICALES**

IVÁN MAURICIO ROSERO CHAMORRO

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magíster en
Diseño y Gestión de Procesos Industriales**

Director

**Andrés Felipe Ríos Mesa
MSc. Ingeniería Agroindustrial**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERIAS

MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES

MEDELLÍN

Agosto de 2018

21 de Agosto de 2018

Ivan Mauricio Rosero Chamorro

“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art. 82 Régimen Discente de Formación Avanzada.

Firma:

Iván M. Rosero Ch.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERIAS

MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES

En la ciudad de Medellín a las 11:00 a.m. del día 08 de agosto de 2018, en el aula 402, Bloque 9 de Formación Avanzada, se presentó el estudiante **Iván Mauricio Rosero Chamorro** identificado con el ID: **000309670** quien entregó el Trabajo de Grado titulado **"COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE SECADO VENTANA REFRACTIVA Y CONVECCIÓN FORZADA EN FRUTAS TROPICALES"** para la evaluación del jurado con la respectiva carta de aprobación del director del trabajo de grado.

Como constancia que el trabajo cumple con los requisitos para la obtención del título respectivo, se suscribe la presente acta, con la calificación respectiva:

Andrés Felipe Rios Mesa
Director

Aprubado
Calificación

[Firma]
Firma

Gustavo Hincapié Llanos
Jurado

Aprubado
Calificación

[Firma]
Firma

Angelica Maria Serpa
Jurado

Aprobado
Calificación

[Firma]
Firma

Se otorga mención del jurado para Grado Honorífico SI NO
(El Grado Honorífico podrá ser concedido luego de estudio por parte del Consejo Académico de la Universidad)

[Firma]

Erika Arenas Castiblanco
Coordinadora Académica
Maestría en Diseño y Gestión de Procesos Industriales

DEDICATORIA

Este logro lo dedico a mi padre Carlos Efraín Rosero Vozmediano por ser el motor que me impulsó en mi vida profesional, a mi madre María Virginia Chamorro Calvo por su motivarme e inculcarme el amor al conocimiento, a mi hermana Jenny Fernanda Rosero Chamorro por su apoyo constante e incondicional a lo largo de mi vida y acompañarme en mis decisiones; también dedico esto a la familia Rosero Vozmediano, a la familia Chamorro Calvo y a mis amigos por brindarme sus buenos deseos y colaboración.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a la Universidad Pontificia Bolivariana por permitirme ser parte de esta comunidad para estudiar este posgrado, así como a los docentes los cuales brindaron sus conocimientos para aprender y mejorar diariamente.

Agradezco a mi asesor de tesis Ing. Andrés Felipe Ríos por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico para guiarme en el proceso del trabajo de grado.

Además, quisiera dedicar y agradecer a Andrés Felipe Mesa Valencia por su compañía, respaldo, paciencia y palabras de aliento durante el desarrollo de este trabajo de grado, los cuales para mí fueron algo vital en el proceso y también para mi vida personal; del mismo modo quiero agradecer al Team Blue por ser amigos que hicieron mis días más amenos durante este proceso. Quiero también agradecer a mis colegas y amigos con quienes estudié mi pregrado, principalmente a Paola Yamá Escobar y Vanessa Cuenca Belalcazar por su ayuda, consejos y apoyo mutuos incluso durante este tiempo después de haber obtenido nuestro título como Ingenieros de Alimentos.

Contenido

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
INTRODUCCIÓN	5
JUSTIFICACIÓN	7
OBJETIVOS.....	9
OBJETIVO GENERAL	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	10
1.1 GENERALIDADES SOBRE EL SECADO DE ALIMENTOS	10
1.1.1 Factores que afectan el proceso de secado.....	10
1.1.2 Curva de Secado.....	10
1.2 GENERALIDADES DE LAS FRUTAS Y HORTALIZAS.....	11
1.2.1 El cultivo de mango.....	12
1.1.1.1 Clasificación taxonómica del mango	12
1.1.1.2 Condiciones agroclimáticas del cultivo de mango	12
1.1.1.3 Variedades de mango.....	13
1.1.1.4 Cosecha y postcosecha del mango	14
1.1.1.5 Calidad del mango	15
1.1.1.6 Contenido nutricional del Mango Tommy	15
1.2.2 El cultivo de piña.....	16
1.1.1.7 Clasificación taxonómica de la piña.....	16
1.1.1.8 Condiciones agroclimáticas del cultivo de piña.....	16
1.1.1.9 Variedades de piña.....	17
1.1.1.10 Cosecha y poscosecha de la piña.....	18
1.1.1.11 Calidad de la piña.....	18
1.1.1.12 Contenido nutricional de la piña.....	19
1.2.3 El cultivo de papaya.....	20

1.1.1.13	Clasificación taxonómica de la papaya	20
1.1.1.14	Condiciones agroclimáticas del cultivo de papaya	20
1.1.1.15	Variedades de papaya.....	20
1.1.1.16	Cosecha y poscosecha de la papaya.....	21
1.1.1.17	Calidad de la papaya	21
1.1.1.18	Contenido nutricional de la papaya	22
1.2.4	El cultivo de guayaba.....	23
1.1.1.19	Clasificación taxonómica de la guayaba	23
1.1.1.20	Condiciones agroclimáticas del cultivo de la guayaba	23
1.1.1.21	Variedades de guayaba.....	23
1.1.1.22	Cosecha y poscosecha de la guayaba.....	25
1.1.1.23	Calidad de la guayaba	25
1.1.1.24	Contenido nutricional de la guayaba	26
1.3	ACTIVIDAD AGROINDUSTRIAL DE FRUTAS DESHIDRATADAS.....	26
1.3.1	Exportaciones e importaciones mundiales	26
1.4	CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LAS FRUTAS.....	28
1.4.1	Color	28
1.4.2	Contenido de humedad.....	29
1.4.3	Sólidos solubles totales (SST).....	29
1.5	ESTADO DEL ARTE.....	30
1.5.1	Ventana refractiva aplicada en frutas de interés.....	30
1.5.2	Convección forzada aplicada en frutas de interés	32
2.	METODOLOGÍA.....	40
2.1	METODOLOGÍA PARA DEFINIR FACTORES CLAVE EN EL SECADO	40
2.2	METODOLOGÍA PARA EL SECADO DE MANGO EN LABORATORIO	40
2.2.1	Localización.....	40
2.2.2	Material vegetal	40
2.2.3	Equipos y herramientas	41
2.2.4	Análisis bromatológico del mango fresco.....	41

2.2.5	Balance de materia.....	41
2.2.6	Diseño experimental	42
2.2.7	Método para determinar el color en fresco y muestras secas	43
2.2.8	Método para la determinación de %H y SST en fresco y muestras secas ...	43
2.3	METODOLOGÍA DEL PROCESO DE SECADO POR VR	43
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
3.1	RESULTADOS REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA	45
3.1.1	Países que más investigan sobre técnicas de secado	46
3.1.2	Factores críticos de secado	59
3.1.3	Análisis de artículos consultados	60
3.2	RESULTADOS DEL ANALISIS FISICOQUIMICO	68
3.2.1	Análisis bromatológico	68
3.2.2	Balance de materia.....	69
3.2.3	Análisis de color	69
3.2.4	Análisis de porcentaje de humedad y solidos solubles totales	72
3.3	METODOLOGÍA PARA EL SECADO POR VENTANA REFRACTIVA ...	75
4.	CONCLUSIONES.....	82
5.	RECOMENDACIONES.....	83
6.	BIBLIOGRAFÍA	84
7.	ANEXOS	95

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional del Mango Tommy	16
Tabla 2. Composición nutricional de la piña cayena lisa.....	19
Tabla 3. Composición nutricional de la Papaya hawaiana	22
Tabla 4. Composición nutricional de la guayaba rosada	26
Tabla 5. Metodologías para el análisis bromatológico	41
Tabla 6. Búsqueda de artículos sobre con métodos de secado	45
Tabla 7. Búsqueda de artículos sobre las técnicas de secado de VR y CF.....	47
Tabla 8. Búsqueda de artículos sobre técnicas de secado de VR y CF en frutas.....	49
Tabla 9. Búsqueda de artículos sobre técnicas de secado de VR y CF en mango.....	51
Tabla 10. Búsqueda de artículos sobre técnicas de secado de VR y CF en Piña	52
Tabla 11. Búsqueda de artículos sobre técnicas de secado de VR y CF en Papaya..	54
Tabla 12. Búsqueda de artículos sobre técnicas de secado de VR y CF en Guayaba	57
Tabla 13. Factores críticos de secado.....	59
Tabla 14. Composición bromatológica del mango fresco	68
Tabla 15. Balance de materia en la experimentación realizada con mango	69
Tabla 16. Promedio y desviación estándar de °Brix y humedad para el secado de ventana refractiva y convección forzada.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva de secado	11
Figura 2. Mango tipo Keitt	13
Figura 3. Mango tipo Kingston.....	13
Figura 4. Mango tipo Osteen.....	14
Figura 5. Mango tipo Tommy Atkins	14
Figura 6. Madurez del mango Tommy.....	15
Figura 7. Piña tipo cayena-lisa	17
Figura 8. Piña tipo perolera	17
Figura 9. Piña tipo manzana	18
Figura 10. Madurez de la piña manzana	19
Figura 11. Papaya tipo hawaiana	20
Figura 12. Papaya tipo maradol.....	21
Figura 13. Maduración de la papaya Maradol	22
Figura 14. Guayaba tipo Calvillo.....	23
Figura 15. Guayaba tipo Huejucar	24
Figura 16. Guayaba tipo HidroZac (rosada)	24
Figura 17. Guayaba tipo Caxcana.....	24
Figura 18. Maduración de la guayaba rosada.....	25
Figura 19. Países que exportan frutas deshidratadas en 2016.....	27
Figura 20. Países que importan frutas deshidratadas en 2016	27
Figura 21. Países a los que Colombia exporta frutas deshidratadas en 2017.	28
Figura 22. Ilustración diseño experimental.....	42
Figura 23. Ejemplo de diagrama de proceso.....	44
Figura 24. Top 10 de países que investigan sobre técnicas de secado.....	46
Figura 25. Documentos por año en investigación de técnicas de secado	47
Figura 26. Documentos por año en investigación sobre secado en VR y CF	48
Figura 27. Top 10 de países que investigan sobre secado con VR y CF.....	49
Figura 28. Artículos/año y países que publican sobre VR y CF en frutas	50

Figura 29. Top 10 países que publican artículos sobre VR y CF en mango.....	51
Figura 30. Artículos sobre CF y VR en mango	52
Figura 31. Top 10 países que publican artículos sobre VR y CF en piña	53
Figura 32. % de artículos procedentes de países que investigan sobre CF en piña .	54
Figura 33. Top 10 países que publican artículos sobre VR y CF en papaya	55
Figura 34. % de artículos en países que investigan sobre CF y VR en papaya	56
Figura 35. Top de países que publican artículos sobre VR y CF en guayaba.....	57
Figura 36. % de artículos en países que investigan sobre CF en guayaba.....	58
Figura 37. Color cualitativo de la muestra de mango en los procesos de VR y CF .	70
Figura 38. Valores de las coordenadas del color L* en pulpa de mango	71
Figura 39. Valores de las coordenadas del color a* en pulpa de mango	71
Figura 40. Valores de las coordenadas del color b* en pulpa de mango	72
Figura 41. Porcentaje de humedad en pulpas de mango.....	74
Figura 42. Valores de °Brix en pulpas de mango	74
Figura 43. Mango Tommy	76
Figura 44. Imagen externa del equipo de secado de ventana refractiva.....	77
Figura 45. Botones de encendido y apagado de emergencia del equipo.....	77
Figura 46. Menú principal y controles del equipo	78
Figura 47. Secado pulpa de mango	78
Figura 48. Muestra seca de mango.....	79
Figura 49. Salidas y entradas de agua del equipo.....	80

RESUMEN

Se comparó teóricamente los efectos de la deshidratación en frutas tropicales evaluando las variables que influyen tanto en la técnica de ventana refractiva como en la técnica de secado por convección forzada, métodos que han sido validados en varias investigaciones durante los últimos años. Inicialmente se realizó una revisión del estado del arte para documentar los estudios previos sobre las dos técnicas de deshidratación a evaluar, aplicadas en alimentos; principalmente se abordaron los casos relacionados en frutas tropicales como papaya, mango, guayaba y piña, las cuales son consideradas dentro del plan exportador de Colombia 2014-2018 como productos con alto potencial industrial. Posteriormente se compararon las variables más influyentes de ambas técnicas y se procedió a realizar la evaluación experimental de los dos métodos en mango (*Tommy Atkins*). Se evaluaron los °Brix, humedad y color; según métodos usados y validados por la comunidad científica. Se encontró que los resultados de la parte experimental coincidían con lo encontrado en la revisión de la literatura. Finalmente, se planteó una metodología de uso para el secador de ventana refractiva marca Thermaltec del laboratorio de ingeniería agroindustrial de la Universidad Pontificia Bolivariana.

Palabras clave: Ventana refractiva, convección forzada, secado, frutas tropicales, mango, piña, papaya, guayaba.

ABSTRACT

The effects of dehydration on tropical fruits were theoretically compared, evaluating the variables that influence both refractive window technique and forced convection drying technique, methods that have been validated in recent research during the last years. Initially a state of the art review was carried out to document the previous studies on the two dehydration techniques to be evaluated, applied in food; mainly related cases in tropical fruits such as papaya, mango, guava and pineapple, which are considered within of the export plan of Colombia 2014-2018 as products with high industrial potential. Later, the most influential variables of both techniques were compared and the experimental evaluation of the two methods in mango (*Tommy Atkins*) was carried out. The properties of °Brix, humidity and color were evaluated; according to methods used and validated by the scientific community. It was found that the results of the experimental tests coincided with what was found in the literature review. Finally, a methodology for the Thermaltec refractive window dryer of the agroindustrial engineering laboratory of the Universidad Pontificia Bolivariana was proposed.

Keywords: Refractive window, forced convection, drying, tropical fruits, mango, pineapple, papaya, guava.

INTRODUCCIÓN

Colombia es un país de vocación agrícola, de hecho, este sector aporta un 7,1 % del Producto Interno Bruto - PIB (Banco Mundial, 2017). Sin embargo, el eslabón de postcosecha es, sin lugar a duda, el que presenta los problemas más profundos en todas las regiones del país, por tanto, las frutas se deben manejar adecuadamente para que se mantengan sus características sensoriales, fisicoquímicas y nutricionales, las cuales se pueden ver perjudicadas por el envejecimiento, y factores externos como son los físicos, químicos y biológicos.

Se han estimado pérdidas postcosecha para cultivos frutales de gran importancia económica para Latinoamérica, las cuales van desde que el producto es recogido hasta el consumidor final, estas pérdidas tienen un aproximado del 34% y en el sector agroindustrial, es cada vez más necesario disminuirlas para mantener costos competitivos y aumentar la oferta (High Level Panel of Experts, 2014). Las tecnologías implementadas para disminuir estas pérdidas dependen del tipo de fruta y de las condiciones en la etapa de postcosecha; entre ellas se destacan las tecnologías orientadas a la disminución de la tasa de respiración y transpiración de la fruta, las dedicadas a la protección contra agentes patógenos y las que cuidan las condiciones de manipulación del producto, sobre todo en el transporte, principal factor de deterioro por golpes, formación de heridas o magulladuras.

Por otro lado, las frutas en general tienen un alto valor nutricional, gracias a que aportan minerales, vitaminas y fibra, los cuales deberán ser preservados por medio de algún método de conservación. La aplicación de métodos de conservación como la tecnología de secado, brinda los medios para conservar los alimentos en condiciones estables y seguras al reducir la actividad de agua y extender el tiempo de caducidad (Zhang et al., 2006). Sin embargo, al ser sometidas a diferentes condiciones presentan cambios en su estructura física y composición química ocasionando una pérdida en el valor nutritivo inicial y una disminución en la calidad organoléptica. Por lo tanto, se debe buscar que estas alternativas de conservación no deterioren significativamente las características fisicoquímicas y sensoriales de este tipo de alimentos.

No obstante, hay que tener en cuenta que existe gran variedad de técnicas de secado, como por ejemplo los equipos de secado con bandejas que involucran el uso de aire que fluye por encima de un producto para retirar el agua predominante de la superficie del material; también se encuentra los equipos de secado para líquidos y purés, como el de atomización o secado por spray dry (Candelas, 2005), pero respecto a otras no resulta una buena alternativa en cuanto a calidad de características fisicoquímicas y limita su uso puesto que el producto obtenido es en polvo (Anias et al., 2015). La técnica de liofilización es muy eficiente y se sabe que conserva la

calidad fisicoquímica de los productos, aunque tiene como inconveniente lo relacionado con los altos costos de operación. Entre los últimos desarrollos tecnológicos en cuanto a la deshidratación de alimentos, se encuentran el secado por microondas y transferencia de calor por radiación infrarroja (Zhang et al., 2006; Shi et al., 2008), además de la combinación de tecnologías como por ejemplo la de radiación infrarroja con la tecnología de secado por películas de contacto como la de ventana refractiva - VR (Nindo, 2007).

De acuerdo a lo anterior, una opción viable para reducir el riesgo de afectación en la calidad nutricional de los frutos es disminuir su contenido de humedad, por lo tanto el presente trabajo empleó las técnicas de secado de primera generación como convección forzada cuya eficiencia energética va de 30 a 40% y la de cuarta generación de ventana refractiva cuya eficiencia esta entre 27,9 a 47,6% (Ortiz, 2014).

En este trabajo se buscó conocer las diferentes condiciones (tiempo, temperatura, velocidad del aire, espesor de película formada por el corte o la pulpa de fruta seleccionada, entre otros.) que se registran en la literatura entre los dos métodos de secado, además los cambios que esos factores producen en propiedades como °Brix, humedad y color (Flores, Maria, & Pico, 2014).

Posteriormente se realizó experimentalmente una comparación de estas técnicas de secado a partir de los datos obtenidos en la revisión bibliográfica en mango, puesto que esta fruta tiene mayor disponibilidad en la producción departamental, y es considerada por la FAO (2008) la quinta fruta tropical más importante a nivel mundial. Además de sus aportes nutricionales de fibra y caroteno, sus características exóticas han impulsado su popularidad (Janjai et al, 2007; Maneepun & Yunchalad, 2004).

Del mismo modo se construyó una metodología de trabajo para el secador de ventana refractiva del laboratorio de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Pontificia Bolivariana con el fin de dar una orientación metodológica de uso cuando se quiera utilizar el equipo.

JUSTIFICACIÓN

El secado de material biológico es el método más antiguo de conservación de los productos perecederos (Casp y Abril, 2003). En la actualidad una gran cantidad de productos son secados por diversas razones como por ejemplo la preservación, la reducción de peso o volumen, el mejoramiento de su estabilidad (Hernández y Quinto, 2005), la disminución del contenido de agua, la inhibición del desarrollo de microorganismos y una serie de reacciones típicas de los productos con alta actividad de agua. Según Honorato et al., (2005), los costos del secado son compensados, porque el producto final tiene un mayor valor agregado debido a la reducción en los costos de transporte y almacenaje a causa del menor volumen y peso del producto seco. La tecnología de secado brinda los medios para conservar los alimentos en condiciones estables y seguras cuando reduce la actividad de agua y se extiende el tiempo de caducidad, además de que da pie a elaborar nuevos productos a partir de la nueva presentación en la que se encuentra el fruto deshidratado (Zhang et al., 2006).

Por tanto, con la intención de comprobar las anteriores afirmaciones se seleccionaron frutas como el mango, papaya, piña y guayaba por ser consideradas de alto potencial exportador (ProColombia, 2014), además de conocer su comportamiento sobre las técnicas de secado debido a sus altos contenidos de humedad y a todos los nutrientes que se pueden aprovechar, para que de esta manera se puedan promocionar diversas alternativas para el consumo. Por ejemplo, el contenido nutricional del mango sobresale por su cantidad de carbohidratos con 70 mg de vitamina C en pulpa; la papaya se destaca por su contenido de vitamina A con 20 mg en pulpa deshidratada; la piña cuenta con mayor contenido de vitamina A con 28,06 mg en pulpa deshidratada y en la guayaba hay mayor diversidad de micronutrientes como tiamina, riboflavina y vitamina C con 774 mg, además de calcio, hierro y fósforo 100 mg; todos estos resultados son tomados de una base de pulpa de 100 g (ICBF, 2000).

En Colombia se tiene anualmente que la producción de las frutas seleccionadas es: mango y guayaba 273.112 ton, papaya 155.290 ton y en piña 652.759 ton (FAOSTAT, 2014) de las cuales se exportaron 224 ton de mango y guayaba, 96 ton en papaya y 4.29 ton de piña para el año 2013 (FAOSTAT, 2013), adicionalmente estas frutas tienen potencial de extracción de algunos componentes propios de estas como sabores y colores naturales del cual es necesario el secado previo para posteriormente extraer con un proceso distinto (Devia-Pineda & Saldarriaga, 2005). Basándose en lo anterior, las frutas y vegetales son importantes en la dieta para consumo humano por su aporte de micronutrientes como vitaminas y minerales que son indispensables para el buen funcionamiento del cuerpo; las frutas ayudan a eliminar toxinas, brindan hidratación, ayudan a prevenir y a combatir enfermedades, contienen fibra y ayudan a mejorar el sistema inmunológico (FAO,

2002). Con lo anterior, debido a que las frutas y verduras son perecederos es necesario utilizar métodos de conservación, y con ello plantear nuevas alternativas de consumo o reproceso para expandir el mercado con la intención de generar una rentabilidad (Hipólito, Ramalheira, Beirão da Costa, & Moldão-Martins, 2016). Por otro lado en Latinoamérica, el consumo de frutas y verduras está por debajo de lo recomendado (400 g/persona/día) y es por eso por lo que muchas guías alimentarias de países destacan la necesidad de incrementar su consumo; por esto se quiere incentivar a que sean procesados por métodos de secado, puesto que en el ámbito social podría ser interesante para las empresas y por tanto generar empleo; además también incentiva la creación de nuevos productos como frutas fortificadas o incluso la posibilidad de extraer algunos componentes como colores, sabores o nutrientes.

El secado es una operación presente en casi todos los sectores industriales, se aplica desde la agricultura hasta en productos farmacéuticos. La tecnología de secado consiste en el acoplamiento de los fenómenos de transporte y ciencia de los materiales y se ocupa no solo de la eliminación del líquido para producir un producto sólido, sino también del desarrollo de criterios de calidad necesarios para el producto en seco (Kudra y Mujumdar, 2009).

Entre las opciones para deshidratar frutas se optó por las tecnologías de secado de primera y cuarta generación, es decir, la técnica de secado por convección forzada y la técnica de secado en ventana refractiva, respectivamente. El secado por ventana refractiva está causando mayor impacto últimamente para la conservación de frutas porque reduce el tiempo de secado respecto a otras tecnologías, preservando la calidad de las características fisicoquímicas del producto, además, es una alternativa que reduce el consumo energético del proceso (Mejía Terán, 2011). En este sentido, Mejía (2011) reporta que el costo de un equipo de ventana refractiva puede ser la mitad del costo de un equipo de liofilización que seca la misma cantidad de producto (Nindo, 2007). Por otro lado, el secado por convección forzada resulta ser el más usado en la industria de frutas deshidratadas y cuenta con más información en publicaciones científicas de alimentos. Empresas Colombianas como Befruit, la cual trabaja con hornos de convección forzada podría verse beneficiada con la técnica de ventana refractiva.

Es imperativo conocer el mayor número de trabajos relacionados con el secado de frutas, de tal forma que los investigadores tanto de los sectores académicos e industriales aprovechen los resultados de los trabajos aportados por los científicos de punta en el área y puedan disminuir esfuerzos y recursos buscando las mejores condiciones para sus ejercicios en investigación y de desarrollo tecnológico.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Comparar los métodos de secado por ventana refractiva y convección forzada en frutas tropicales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- A. Comparar los factores de diseño y de proceso del método de secado por ventana refractiva y convección forzada en frutas tropicales.
- B. Realizar experimentación del método de secado por ventana refractiva y convección forzada en mango.
- C. Realizar una metodología de trabajo para el secado de frutas por ventana refractiva

1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

1.1 GENERALIDADES SOBRE EL SECADO DE ALIMENTOS

El secado de alimentos consiste en evaporar el agua libre de los alimentos por medio de la adición de calor. En este procedimiento intervienen dos factores los cuales son la transferencia de calor que suministra el calor latente de evaporación necesario para evaporar 1 kg de agua líquida y la transferencia de masa en donde se tiene en cuenta el agua que se extrae del alimento y se evapora en el ambiente (Martínez Cadena, 2008).

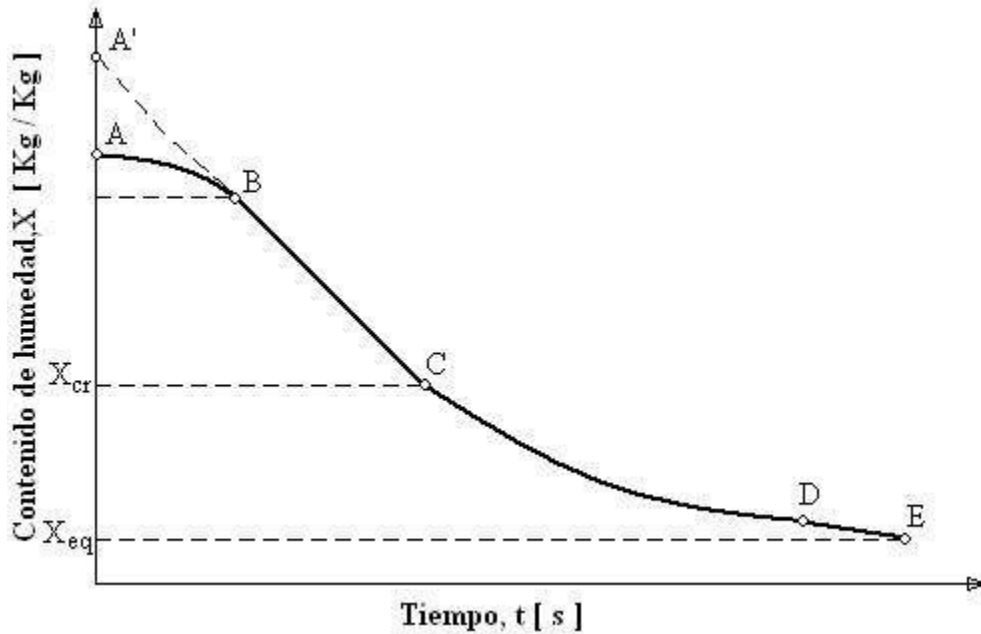
1.1.1 Factores que afectan el proceso de secado

Respecto al secado de alimentos existen algunos factores los cuales influyen en el desempeño de este proceso, y entre los más relevantes están la humedad, temperatura, velocidad del aire y espesor del producto. Donde la T° y el %H del producto o del ambiente podrían afectar la velocidad del secado, puesto que entre mayor sea el %H en el producto tardará más en secarse o si por el contrario es la respectiva del ambiente no habrá una transferencia de masa de vapor de agua efectiva; para el secado por convección forzada la velocidad del aire es un factor influyente en el secado ya que entre mayor circulación de aire seco hará que se extraiga más agua, sin embargo, este factor va de la mano con la temperatura; el espesor influye en el sentido de la forma que tenga el producto, puesto que entre mayor sea habrá más humedad que extraer, no obstante, esto depende también del tipo de producto a secar (Martínez Cadena, 2008).

1.1.2 Curva de Secado

Una curva de secado (ver Figura 1) es un tipo de gráfico que relaciona la cantidad de agua en un material, en este caso de un alimento, a través del tiempo y se utiliza para representar el comportamiento del porcentaje de humedad durante el tiempo de este proceso de secado. En el periodo inicial de secado, en la zona A-B se seca lo que se conoce como humedad superficial. Al terminar este primer periodo el secado se toma una forma lineal donde se seca la humedad intersticial, en este periodo la velocidad del secado es constante (recta B-C). Posteriormente se forma una curva con una asíntota en el punto E donde se extrae la humedad hasta el punto D, pero nunca se llega al punto de humedad E el cual es el valor mínimo de humedad en el proceso de secado (Dávila Nava, 2004).

Figura 1. Curva de secado.



Fuente: (Dávila Nava, 2004)

1.2 GENERALIDADES DE LAS FRUTAS Y HORTALIZAS

Debido a que algunas frutas y hortalizas siguen respirando después de ser cosechadas se tienden a marchitar, además por el estado de madurez de las estas se puede determinar si son aptas para elaborar un producto con las características deseadas. Por esto es importante recolectarlas en el momento adecuado para evitar anomalías que serían perjudiciales para el procesamiento y conservación de estas, además de pérdidas postcosecha causadas por mal manejo de estas materias primas (Solis, et al, 1993).

Por tanto, para saber más sobre lo mencionado anteriormente se realizó una búsqueda de artículos y se seleccionaron frutas entre las cuales ofrecen una variedad de azúcares, colores y sabores que las hacen apetitosas para el consumo cuando llegan a su estado ideal de madurez; estas características son llamativas para el mercado y tienen el potencial para ser extraídos y conservados. Sin embargo, debido a que en ocasiones se da el mal almacenamiento muchos frutos pierden sus propiedades fisicoquímicas más rápidamente, ya sea por envejecimiento o porque sus características en sí son ideales para la proliferación de insectos o microorganismos, esto hace que se degeneren más rápido y causen pérdidas en producción. Debido a esto es que existe la necesidad de evaluar alternativas de

almacenamiento, conservación de las frutas o buscar alternativas para procesarlas (Fao, 2012).

A continuación, se realiza una breve descripción de los cultivos de mango, piña, papaya y guayaba, productos seleccionados para el desarrollo del trabajo.

1.2.1 El cultivo de mango

El mango (*Mangifera Indica*) es una fruta tropical, rica en azúcares, fibra, vitamina C que ayuda a combatir enfermedades y contiene carotenoides que le brindan su color característico. El mango contiene hierro, mineral de gran importancia en la dieta de los seres humanos sobre todo para mujeres en estado de gestación, contiene potasio que ayuda al buen funcionamiento del corazón y los nervios. El mango es una fruta que presenta características muy llamativas para el consumo por su sabor y su contenido de fibra lo que la vuelve muy popular en su consumo al llegar a su estado de madurez (Quintero, Giraldo, Lucas, & Vasco, 2013).

1.1.1.1 Clasificación taxonómica del mango

El mango (*Mangifera Indica*) se clasifica botánicamente por la clase *magnoliopsida*, orden *sapindales*, familia *anacardiaceae*, género *mangifera* y especie *indica* (Cartagena J, 1992).

1.1.1.2 Condiciones agroclimáticas del cultivo de mango

El desarrollo del cultivo de mango se da en altitudes hasta los 1600 msnm (Corpoica, 2013), temperatura entre 22°C a 27°C, es susceptible a las heladas, humedad relativa entre 60 y 80 % y no tolera encharcamientos de agua. La precipitación puede oscilar entre 1000 y 1500 mm al año. Los suelos recomendados para este cultivo son sueltos, aireados 1 a 1,5 m de profundidad y pH de 5,5 a 7 (Mora Montero, Gamboa Porras, & Elizondo Murillo, 2002).

1.1.1.3 Variedades de mango

A continuación, se describirán brevemente las características de algunas variedades existentes del mango.

- **Keitt:** Forma ovoide, color rosado, peso medio de 500 a 600 g, pulpa poco fibrosa. Ver figura 2.

Figura 2. Mango tipo Keitt



Fuente: (Tanetahi, 2010)

- **Kensington:** Forma ovoide alargada, color amarillo verdoso y con zona roja, peso entre 450 y 500 g, presencia moderada de fibra. Ver figura 3.

Figura 3. Mango tipo Kingston.



Fuente: (Murphy X, 2011)

- **Osteen:** Forma oblonga, color púrpura, peso medio es de 525 g, baja presencia de fibra en la pulpa. Ver figura 4.

Figura 4. Mango tipo Osteen



Fuente: (Rua H, 2007)

- **Tommy Atkins:** Forma oblongo-ovalada, piel color naranja a rojo intenso, peso medio de 500 a 550 g, presencia alta de fibra en la pulpa. Ver Figura 5.

Figura 5. Mango tipo Tommy Atkins



Fuente: Propia

1.1.1.4 Cosecha y postcosecha del mango

La fruta se debe recoger a partir de un estado de madurez tipo 3, es decir, cuando la cáscara empiece a cambiar de coloración o cuando externamente la fruta de cada variedad presenta algunos cambios que indican madurez fisiológica. Se puede comprobar que la fruta alcanzó esta madurez cuando la pulpa cercana a la semilla tome un color amarillento (Bonilla Rivera, et al, 1990). El mango se debe manipular con cuidado para evitar daños físicos, si el mango se va a exportar o procesar es importante evitar utilizar frutos afectados con enfermedades o comidos por insectos, con deformaciones o pasados de madurez, entre otras alteraciones para así evitar rechazos del fruto (Mora Montero et al., 2002).

1.1.1.5 Calidad del mango

De acuerdo con la NTC 1266 los requisitos mínimos de calidad del mango deben estar enteros, frescos, sanos, limpios, sin picaduras de insectos, entre otros.

Los mangos deben estar suficientemente desarrollados y presentar una madurez satisfactoria. Los mangos se deben cosechar cuidadosamente, en la etapa de desarrollo fisiológico de tal forma que tengan capacidad para: asegurar la continuación del proceso de maduración hasta que se alcancen el grado apropiado de madurez correspondiente a las características de la variedad. Resistir el transporte y la manipulación, llegar en condición satisfactoria al lugar de destino. En relación con la evolución de la maduración, el color puede cambiar de acuerdo con la variedad (NTC 1266 Frutas Frescas. Mangos, 1994).

Figura 6. Madurez del mango Tommy



Fuente: (NTC 5210, 2004)

De acuerdo con la Figura 6 la madurez ideal para cosechar el mango para su uso o consumo es la que está clasificada en el número 2 donde la pulpa es de color amarillo intenso, además el fruto debe estar sano y libre de ataques y pudrición, libre de humedad externa anormal, fisuras y daños mecánicos, exentos de olores y sabores extraños.

1.1.1.6 Contenido nutricional del Mango Tommy

A continuación, se mostrará el contenido nutricional del mango por cada 100 g de parte comestible donde se expresan los macronutrientes y sus micronutrientes más destacados.

Tabla 1. Composición nutricional del Mango Tommy

PROXIMAL / 100 g	
HUMEDAD (g)	83,46
PROTEÍNA (g)	0,82
LÍPIDOS (g)	0,38
CARBOHIDRATOS (g)	14,98
FIBRA (g)	1,6
AZÚCARES (g)	13,66
VITAMINA A (mcg)	54
VITAMINA C (mg)	36,4

Fuente: (National Nutrient Database for Standard Reference, 2016)

1.2.2 El cultivo de piña

La piña (*Ananas Comosus*) es un fruto con diversas propiedades las cuales se usan para tratamientos en problemas digestivos ya que tiene alto contenido de fibra e igualmente tiene alto contenido de humedad. Una de las razones por las que la piña es un fruto muy llamativo es por su característico aroma causado por el butirato de etilo, el cual combina un olor dulce con sensaciones ácidas. La piña debe cumplir con los criterios de calidad antes de darle el aprovechamiento durante su respectivo proceso (Rojas, 2001).

1.1.1.7 Clasificación taxonómica de la piña

La piña se clasifica botanicamente por la clase *Liliopsida*, orden *poales*, familia *Bromeliaceae*, género *Ananás*, especie *comosus* (Rojas, 2001).

1.1.1.8 Condiciones agroclimáticas del cultivo de piña

El cultivo de piña se da a temperaturas entre 23 y 30°C provenientes de un clima tropical, con altitudes inferiores a 900 msnm. Precipitaciones entre 800 y 1200 mm al año. La mejor opción de suelos para cultivar esta fruta son suelos sueltos, aireados, de 1 a 1,5 m de profundidad y un pH superior a 6 (Rojas, 2001).

1.1.1.9 Variedades de piña

A continuación, se describirán brevemente las características de algunas variedades existentes de piña.

- **Cayena lisa:** Variedad muy sembrada, peso promedio de 2,4 kg, cilíndrico y alargado. Tiene un alto contenido de jugo y poca fibra; la cáscara es lisa y el color de la pulpa es blanco-amarillento. Ver figura 7 (Carvajal L, Universidad de Antioquia, ND).

Figura 7. Piña tipo cayena-lisa



Fuente: (Sánchez, Ahuja, & Acevedo, 2015)

- **Perolera:** Fruto al madurar es color amarillo-naranja; ojos profundos, corona única, pulpa amarilla y forma cilíndrica cuando el fruto alcanza un peso de 2 Kg. Ver figura 8 (Carvajal L, Universidad de Antioquia, ND).

Figura 8. Piña tipo perolera



Fuente: (Basabe L, 2010)

- **Manzana:** Fruto tamaño pequeño y color rojo al madurar. Tiene ojos menos profundos, pulpa color rosáceo, presenta una corona con varios bulbos, presenta baja resistencia a la manipulación. Ver figura 9 (Carvajal L, Universidad de Antioquia, ND).

Figura 9. Piña tipo manzana



Fuente: (Basabe L, 2010)

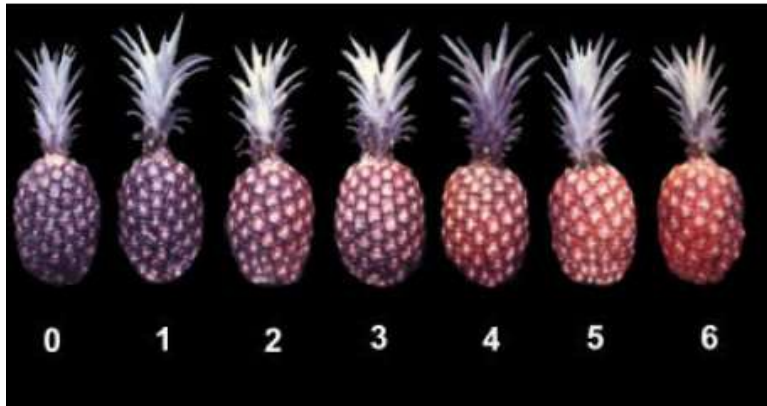
1.1.1.10 Cosecha y poscosecha de la piña

Se debe cosechar cuando la fruta demuestre que está en las primeras etapas de maduración, pero verde; si es para el mercado nacional, la fruta se cosecha recién madura, no en estado avanzado de madurez. La cosecha es manual, se gira para desprender del pedúnculo, o de ser necesario con cuchillo teniendo cuidado de no golpear o herir la fruta. Para el transporte, los frutos se colocan acostados sobre una cama de hojas de aserrín y en capas alternas con capas de las coronas, las cuales disminuyen el daño. Se debe evitar estibas muy altas (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2002).

1.1.1.11 Calidad de la piña

Las frutas para ser aprovechadas para consumo o producción deben estar enteras, estar sanas (sin picaduras de insectos o enfermedades), deben presentar un aspecto fresco y consistencia firme, deben estar exentos de cualquier olor y/o sabor ajeno a la fruta en sí que pudo haber obtenido en alguna etapa de poscosecha y deben estar exentas de materiales extraños visibles en el producto o en su empaque (tierra, polvo, agroquímicos y cuerpos extraños) (NTC 729-1 Frutas frescas. Piña. Especificaciones, 1996)

Figura 10. Madurez de la piña manzana



Fuente: (NTC 4102, 1997)

De acuerdo con la Figura 10 el tipo de madurez ideal para cosechar la piña debe ser el número 3 donde su color predominante es el anaranjado sobre los tintes morados y verduzcos, ya que es donde se reduce su contenido de almidón y aumenta el de azúcares y es cuando los otros componentes que le dan su olor y sabor característico empiezan a evidenciarse (Morales, Hernandez, Cabezas, Barrera, & Martinez, 2001).

1.1.1.12 Contenido nutricional de la piña

A continuación, se mostrará el contenido nutricional de piña por cada 100 g de parte comestible donde se expresan los macronutrientes y sus micronutrientes más destacados.

Tabla 2. Composición nutricional de la piña cayena lisa

PROXIMAL / 100 g de parte comestible	
HUMEDAD (g)	86
PROTEÍNA (g)	0,54
LÍPIDOS (g)	0,12
CARBOHIDRATOS (g)	13,12
FIBRA (g)	1,4
AZÚCARES (g)	9,85
VITAMINA A (mcg)	3
VITAMINA C (mg)	47,8

Fuente: (National Nutrient Database for Standard Reference, 2016)

1.2.3 El cultivo de papaya

La papaya (*Caraca papaya*) es una fruta tropical con alto contenido de fibra, azúcares, betacarotenos y contenido de agua. Se sabe que llega a su madurez cuando empieza a perder su color verde tornándose amarillo. El procedimiento de postcosecha y distribución de papaya para su consumo debe seguir el mismo protocolo mencionado anteriormente con las otras frutas (Rojas, 2001).

1.1.1.13 Clasificación taxonómica de la papaya

La papaya se clasifica botánicamente así: clase *magnoliopsida*, orden *brassicales*, familia *caricaceae*, género *carica*, especie *Carica Papaya* (Rojas, 2001).

1.1.1.14 Condiciones agroclimáticas del cultivo de papaya

Para la papaya es ideal cultivarla a temperatura de 25 a 38°C con un clima predominante tropical cálido, a altitudes inferiores a 800 msnm, acepta precipitaciones de 1800 mm por año. Los suelos recomendados deben ser blandos, ligeros, fértiles, ricos en humus, profundos y permeables (Rojas, 2001).

1.1.1.15 Variedades de papaya

A continuación, se describirán brevemente las características de algunas variedades existentes de papaya.

- **Hawaiana:** Tiene forma de pera, su peso puede variar entre 400 y 800 g, es la más dulce, Su color externo en punto de madurez puede ser amarillo verdoso. Ver figura 11 (Torres, Montes, Pérez, & Andrade, 2013).

Figura 11. Papaya tipo hawaiana



Fuente: (Richards J., 2015)

- **Maradol:** Se asemeja a la pera, es más alargada y su peso varía entre 1,5 y 2 Kg. Se desarrolla en clima cálido, se puede sembrar en cualquier época del año. Ver figura 12 (Torres et al., 2013).

Figura 12. Papaya tipo maradol



Fuente: (Ramirez H, 2017)

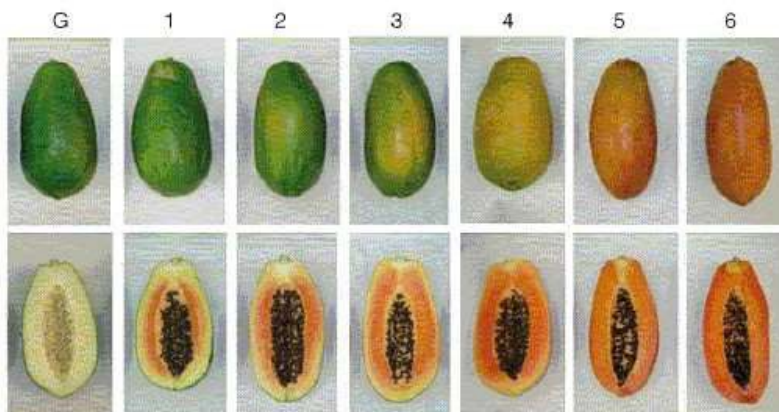
1.1.1.16 Cosecha y poscosecha de la papaya

El estado de recolección se alcanza cuando los frutos empiezan a ablandarse y a perder el color verde del ápice. La madurez alcanzará a los 4 o 5 días de recolección y los frutos tomarán un color amarillo. Debido a su piel delgada se trata de frutos muy delicados por lo que se magullan muy fácilmente. Por ello se deben envolver individualmente y empacarse con acolchado por todos los lados para su transporte y comercialización. El peso del fruto maduro varía entre 1 y 3 kg (Ayala J., 2016).

1.1.1.17 Calidad de la papaya

La papaya debe ser de una misma variedad y de tamaño uniforme, sin deformaciones exageradas, debe presentarse entera, con el aspecto, la forma y el color típicos de la variedad, debe estar fresca, limpia y sin indicios de humedad exterior y ser consistente al tacto, el pedúnculo debe estar cortado a una longitud máxima de 1,5 cm, debe tener el grado de madurez que permita la conservación adecuada del producto en condiciones normales de manipulación, almacenamiento y transporte, debe encontrarse libre de daños por ataques de insectos, huellas de enfermedades, magulladuras, podredumbres, cicatrices y cortaduras (NTC Industrias Alimentarias. Papaya , 1970).

Figura 13. Maduración de la papaya Maradol



Fuente: (Santamaría F, et al, n.d.)

La papaya se puede consumir a partir de su estado de maduración número 3 de acuerdo con la imagen, debido a que es donde tiene mayor contenido de azúcares y por tanto su sabor es más dulce, aunque su cáscara aún conserve tintes color verde es apta para consumo porque gran parte ya se ha reblandecido lo que la vuelve de fácil masticabilidad (Santamaría F, et al, n.d.).

1.1.1.18 Contenido nutricional de la papaya

A continuación, se mostrará el contenido nutricional de papaya por cada 100 g de parte comestible donde se expresan los macronutrientes y sus micronutrientes más destacados.

Tabla 3. Composición nutricional de la Papaya hawaiana.

PROXIMAL / 100 g de parte comestible	
HUMEDAD (g)	88,6
PROTEÍNA (g)	0,47
LÍPIDOS (g)	0,26
CARBOHIDRATOS (g)	10,82
FIBRA (g)	1,7
AZÚCARES (g)	7,82
VITAMINA A (mcg)	47
VITAMINA C (mg)	60,9

Fuente: (National Nutrient Database for Standard Reference, 2016)

1.2.4 El cultivo de guayaba

La guayaba (*Psidium Guajava*) es una fruta tropical rica en antioxidantes con cantidades mayores a muchos cítricos, es una fruta que aporta azúcar natural, rico en pectina, fósforo y vitamina C (Rojas, 2001).

1.1.1.19 Clasificación taxonómica de la guayaba

La guayaba se clasifica botánicamente como: clase *magnoliopsida*, orden *myrtales*, familia *Myrtaceae*, género *Psidium*, especie *Psidium Guajava* (Rojas, 2001).

1.1.1.20 Condiciones agroclimáticas del cultivo de la guayaba

Para cultivar guayaba se deben tener en cuenta temperaturas como entre 25 a 30°C con un clima tropical a altitudes menores a 800 msnm con precipitaciones de 2000 a 3000 mm por año y las condiciones de los suelos deben ser arenosos, francos bien drenados y húmedos.

1.1.1.21 Variedades de guayaba

A continuación, se describirán brevemente las características de algunas variedades existentes de guayaba.

- **Calvillo Siglo XXI:** De pulpa cremosa, forma ovoide de 60 a 80 g, de 4,5 a 5 cm de diámetro. Entre 12 y 14 °Brix. Ver figura 14 (Inifap, 2016).

Figura 14. Guayaba tipo Calvillo



Fuente: (Inifap, 2016)

- **Huejucar:** Guayaba de pulpa rosa pálido-crema, tiene forma ovoide de 80 a 100 gr y de 4,8 a 5,5 cm de diámetro. De 12 a 14 °Brix. Ver figura 15 (Inifap, 2016).

Figura 15. Guayaba tipo Huejucar



Fuente: (Inifap, 2016)

- **HidroZac:** Pulpa color rosa de peso entre 90 a 110 g, de 5 a 5,5 cm de diámetro y entre 11 y 13 °Brix. Ver figura 16 (Inifap, 2016).

Figura 16. Guayaba tipo HidroZac (rosada)



Fuente: (Inifap, 2016)

- **Caxcana:** De pulpa blanca, tiene forma redonda y pesa de 75 a 95 g, de 4,8 a 5,5 cm de diámetro y contiene entre 11 a 13 °Brix. Ver figura 17 (Inifap, 2016).

Figura 17. Guayaba tipo Caxcana



Fuente: (Inifap, 2016)

1.1.1.22 Cosecha y poscosecha de la guayaba

Los frutos se deben recolectar cuando la epidermis adquiere un color amarillo si se quiere destinar el fruto para industria, en cambio sí es para consumo en fresco, así como para el transporte a largas distancias, se debe cosechar cuando la epidermis se torna de un color verde amarillento. Para aumentar la vida en poscosecha las guayabas se deben almacenar en cámaras frigoríficas. Para guayabas verdes-amarillentas, se recomienda el almacenamiento a temperaturas entre 8-10°C y humedades relativas de 90%. En estas condiciones, el fruto permanece en buen estado entre 2 a 3 semanas. En cambio, las guayabas maduras (amarillas) se deben almacenar a temperaturas entre 5 y 8 °C y humedades relativas del 90% durante una semana (FAO, 1989).

1.1.1.23 Calidad de la guayaba

La guayaba debe ser de la misma variedad y de tamaño uniforme, debe presentarse entera con el aspecto, la forma y el color de la variedad, debe estar fresca, limpia, sin indicios de humedad exterior y ser consistente al tacto, debe encontrarse libre de daños visibles causados por ataques de insectos, enfermedades, magulladuras, podredumbres, cicatrices y cortaduras, debe comercializarse en estado pintón, para lograr la conservación adecuada del producto en condiciones normales de manipuleo, almacenamiento y transporte (NTC Frutas frescas. Guayaba, 1996).

Figura 18. Maduración de la guayaba rosada



Fuente: (Postharvest, 2009)

De acuerdo con lo evidenciado a la figura 18, es recomendable cosechar guayabas para uso y consumo las que sean de la madurez de acuerdo con los números 3 y 4, debido a que están en su pico más alto de maduración y permitirá aprovechar mejor sus propiedades intrínsecas (Solarte, Hernández, Morales, Fernández-Trujillo, & Melgarejo, 2010).

1.1.1.24 Contenido nutricional de la guayaba

A continuación, se mostrará el contenido nutricional de guayaba por cada 100 g de parte comestible donde se expresan los macronutrientes y sus micronutrientes más destacados.

Tabla 4. Composición nutricional de la guayaba rosada

PROXIMAL / 100 g de parte comestible	
HUMEDAD (g)	80,8
PROTEÍNA (g)	2,55
LÍPIDOS (g)	0,95
CARBOHIDRATOS (g)	14,32
FIBRA (g)	5,4
AZÚCARES (g)	8,92
VITAMINA A (mcg)	31
VITAMINA C (mg)	228

Fuente: (National Nutrient Database for Standard Reference, 2016)

De acuerdo con lo visto en la tabla, la guayaba aporta una alta cantidad de proteína y fibra lo cual la hace llamativa para evaluar su desempeño durante el secado, además de que su alto contenido de azúcares.

Con lo visto anteriormente se puede comprobar que las frutas son una fuente nutricional importante en nuestra dieta, lo que hace que tengan un alto potencial productivo. A continuación, se hablarán sobre las condiciones del mercado sobre importación, exportación de frutas deshidratadas a nivel mundial en el año 2016.

1.3 ACTIVIDAD AGROINDUSTRIAL DE FRUTAS DESHIDRATADAS

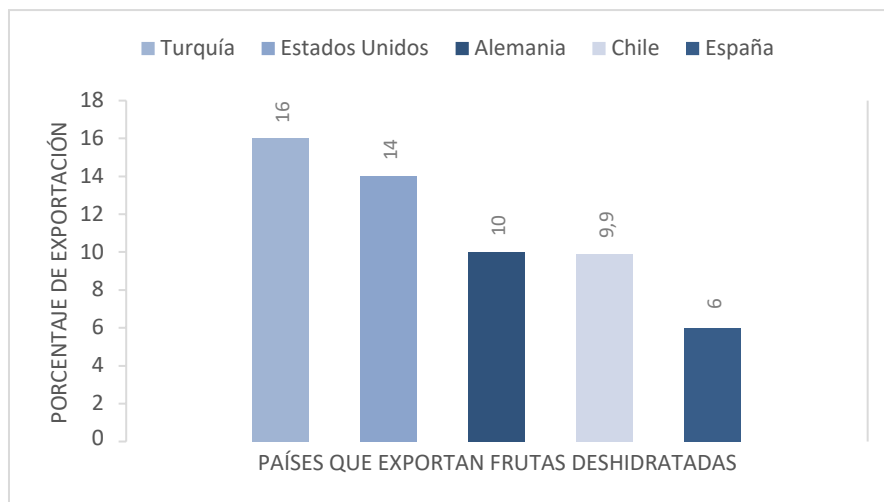
Esta sección se orienta a la identificación de las condiciones que ofrecen los mercados internacional y nacional para la actividad agroindustrial de las frutas deshidratadas, en términos de exportaciones, importaciones y variedades preferidas.

1.3.1 Exportaciones e importaciones mundiales

En la siguiente figura se observa el porcentaje de exportación de frutas deshidratadas de cada país en el año 2016 donde se observa que Turquía encabeza junto con Estados Unidos la exportación de este producto a nivel mundial, en los siguientes puestos están Alemania y Chile con el 10 y 9,9% respectivamente, a estos

le siguen España con el 6% de las exportaciones de frutas deshidratadas a nivel mundial, esos son los 5 países que destacan en esta característica.

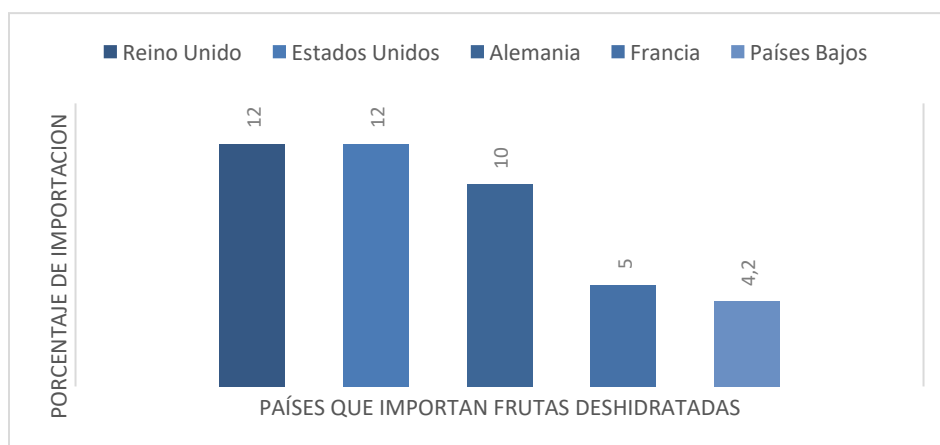
Figura 19. Países que exportan frutas deshidratadas en 2016



Fuente: (Un Comtrade Database, 2016)

En la figura 20 se presentan los países con mayores importaciones de frutas deshidratadas en 2016, sobresalen Estados Unidos, Reino Unido encabezando con 12% cada uno, le sigue Alemania con 10%, luego continúa Francia con 5% y Países Bajos con 4,2%.

Figura 20. Países que importan frutas deshidratadas en 2016

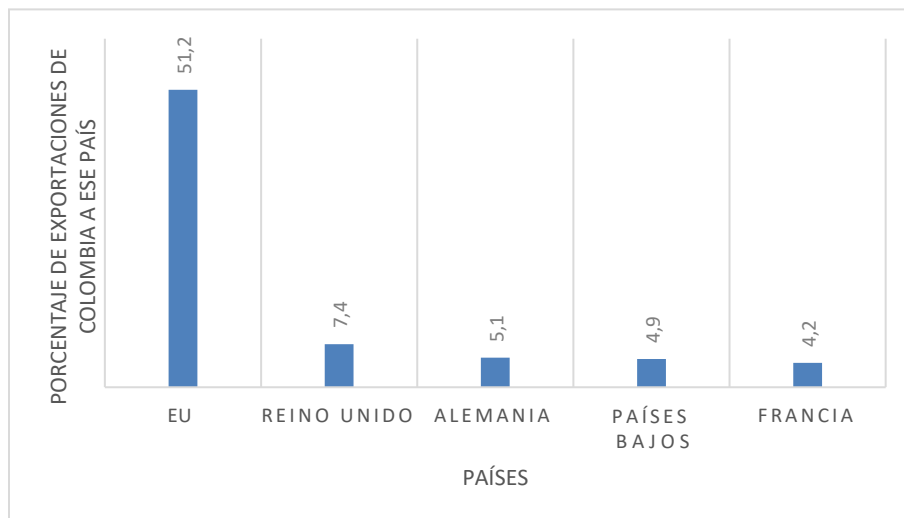


Fuente: (Un Comtrade Database, 2016)

En la figura 21 se presentan los países a los que Colombia exportó sus productos en

2016, En este caso, destaca Estados Unidos superando la mitad de las exportaciones, por otro lado, se encuentran países europeos como Reino Unido, Alemania, Francia y Países Bajos.

Figura 21. Países a los que Colombia exporta frutas deshidratadas en 2017.



Fuente: (Tangua J, 2018)

1.4 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LAS FRUTAS

En general los vegetales como frutas y hortalizas son de naturaleza compleja y poseen exclusivas cualidades en lo referente a patrón de crecimiento, color, forma, densidad aparente y real y de composición; en este último aspecto sobresalen diferentes ácidos y azúcares, normalmente expresados como concentración de sólidos solubles totales (SST), también son importantes aportantes de fotoquímicos o metabolitos secundarios de acción nutracéutica, los cuales evolucionan con los procesos de maduración (Charley, 1991; Chaparro *et al.*, 1992; Landwehr y Torres, 1995; Tejacal, 2007).

1.4.1 Color

El color es una percepción humana de la luz reflejada por un objeto. No es por lo tanto una propiedad intrínseca del cuerpo que transmite o refleja la radiación luminosa, pues basta con cambiar la fuente para modificar el estímulo producido. Depende de la distribución espectral de la radiación incidente, de la capacidad del objeto para transformarla y de la fisiología del observador. Es un atributo de apariencia de los productos; su observación permite detectar ciertas anomalías y

defectos (Abdullah et al, 2004). Diversas industrias miden el color de sus productos: la industria del papel, la textil, de colorantes y pinturas, construcción, automóviles, medicamentos y alimentos. En la industria alimentaria, el color es un parámetro con base al cual se realizan clasificaciones de productos, se evalúan materias primas, se hace control de procesos y se miden indirectamente otros parámetros, como la capacidad de retención de agua en las carnes (CRA), cenizas en harinas, curado, oxidación o degradación de un producto, desverdización de cítricos (ICC), conservación en atmósferas controladas, tostación del café y clasificación de huevos de gallina en blancos o castaños (Delmoro, Muñoz, Nadal, & Pranzetti, 2010).

1.4.2 Contenido de humedad

En el contenido de agua en los alimentos se puede expresar en agua libre y agua ligada. El agua libre, es la que está presente en el alimento y que se logra extraer de él, el agua ligada se encuentra absorbida en este (Hart, 1991). Se busca usualmente determinar el contenido de humedad en los alimentos al momento de someterlos a las técnicas de secado para reducir el desarrollo de microorganismos patógenos, mejorar textura de los alimentos y para la elaboración de subproductos en polvo y conservación (Departamento de Alimentos y Biotecnología Unam, 2008).

1.4.3 Sólidos solubles totales (SST)

Los °Brix se utilizan para medir la cantidad de sólidos solubles totales en alimentos, en especial derivados o productos de frutos vegetales. La importancia de medir los °Brix en los alimentos es porque nos permite determinar el porcentaje de sólidos de alimentos para definir cuál es el mejor método de procesamiento. La técnica más usada para esto es la refractometría, el cual para este trabajo se utilizó el refractómetro de Abbe que se encuentra en el laboratorio de agroindustriales de la Universidad Pontificia Bolivariana, el cual antes de cada lectura se calibraba con agua destilada a T° ambiente de aproximadamente 23°C (Úbeda-Gallego, 2012).

Finalizando la descripción del marco teórico donde se refirieron las generalidades del secado de alimentos, sobre las frutas a analizar y sobre los métodos de análisis, a continuación, se procede a describir una revisión sobre investigaciones realizadas sobre las frutas investigadas en los dos métodos de secado planteados.

1.5 ESTADO DEL ARTE

El método de secado por ventana refractiva maneja una amplia gama de productos como frutas, verduras, hierbas y productos líquidos, transformándolos en láminas, las cuales se pueden procesar para formar polvos y concentrados de alto valor agregado.

Se han evidenciado trabajos en frutas con alto contenido de agua como el lulo (Forero, Orrego, Peterson, & Osorio, 2015), mango (Morales Pérez & Vélez Ruiz, 2013), tomate (Castoldi, Zotarelli, Durigon, Carciofi, & Laurindo, 2015), calabaza (Morales Pérez & Vélez Ruiz, 2013), manzana (Seiiedlou, Ghasemzadeh, Hamdami, Talati, & Moghaddam, 2010), papaya (Ocoro & Ayala, 2012), fresa (Tang & Ph, 1999); en otros vegetales como el pimentón (Topuz, Dincer, Özdemir, Feng, & Kushad, 2011), papa (Krishnamurthy, Khurana, Soojin, Irudayaraj, & Demirci, 2008), cebolla (Krishnamurthy et al., 2008), zanahoria (Abonyi et al., 2002), e incluso en algas (Inpromac, n.d.); donde se han evaluado sus características sensoriales, nutricionales, influencia microbiológica, entre otras.

A continuación, se relacionan algunos trabajos por ventana refractiva y convección forzada para las frutas de interés (Mango, Piña, Papaya y Guayaba):

1.5.1 Ventana refractiva aplicada en frutas de interés

- En el trabajo realizado por Zotarelli, Carciofi y Laurindo (2015) se investigó el efecto de las variables de proceso sobre el secado en ventana refractiva (VR) de la pulpa de mango a temperatura de agua (75, 85 y 95 ° C), grosor de producto (2, 3 y 5 mm). Los resultados mostraron que la capacidad de evaporación (VR) para la pulpa con 2 mm, agua a 95 ° C, indican un proceso de secado muy eficiente.
- En el trabajo realizado por Ochoa-Martínez, Quintero, Ayala, & Ortiz, (2012) se secaron rebanadas de mango (1 y 2 mm de espesor) por medio de la técnica Ventana Refractiva (VR) con temperatura a 92° C. Por otro lado, se secaron rebanadas de mango en un secador de bandejas (SB) a 62° C y una velocidad de aire de 0,52 m/s. Los resultados demostraron que el producto en el SB tuvo una duración mayor que la técnica de VR de 4 h, donde se alcanzaron resultados similares a los de VR en 1 h.
- Polvos de mango fueron deshidratados usando técnicas de secado por congelación, secado en tambor, secado por pulverización y secado por ventana refractiva (VR). Los resultados mostraron que el secado (VR) puede producir polvo de mango con una calidad comparable a la obtenida mediante

liofilización, y mejor que el tambor y los polvos de mango secados por aspersión (Caparino et al., 2012).

- Y. Leiton (2012) estudió el proceso de secado por Ventana refractiva (VR) en pulpa de guayaba, utilizó temperaturas del agua de 60, 80 y 90°C y muestras de pulpa con espesores de 2, 3 y 4 mm y 35 mm de diámetro. Se encontró que en el secado por VR las temperaturas y espesores estudiados tuvieron diferencia significativa sobre las variables de respuesta (humedad, luminosidad y diferencia de color). Se concluyó que tanto la temperatura como el espesor fueron factores que más afectaron al secado de la pulpa.
- Se evaluaron los cambios de humedad durante el secado de puré de papaya por Ventana refractiva a 80°C y 90°C, a 2 y 4 mm de espesor. Los resultados mostraron que en 90 min de secado se alcanzó contenidos de humedad inferiores al 13,7% de humedad (Ocoro & Ayala, 2012).
- Se evaluó la influencia del espesor de las muestras (2, 3 y 4 mm) sobre el color de rodajas de puré de papaya procesadas por ventana refractiva (VR). Los resultados mostraron que a menor espesor el secado fue más rápido, el secado se realizó en 60 minutos y cada muestra obtuvo un resultado distinto dependiendo de su espesor (Ocoro Zamora & Ayala-Aponte, 2014).
- Se deshidrató pulpa de papaya por secado de Ventana refractiva utilizando espesores de papaya de 2 mm y 3 mm, además se buscó comparar el proceso con liofilización. Los polvos de pulpa de papaya se caracterizaron en cuanto a humedad y se concluyó que el proceso de VR es viable para la producción de polvos de papaya (De Souza S, 2017).
- Un estudio realizado por Martínez H, (2011) el cual consistía en ser un proceso de extracción de papaína, presente en el látex de la papaya (*Carica papaya* L.) quiso comparar métodos de extracción con diferentes tipos de alcohol y uso de métodos de secado al vacío y por ventana refractiva. El mejor resultado en términos de rendimiento fue el procedimiento utilizado para el secado al vacío.
- Las muestras de un polvo de fruta (polvo de mango secado por Ventana Refractiva (VR)) se secaron de 25 a 95 °C con un incremento de 10 °C cada 180 s. Los resultados mostraron que puede considerarse como una técnica adecuada para caracterizar la temperatura de punto adhesivo de los materiales ricos en azúcar con el fin de evitar que sean muy pegajosos al momento de manipular los polvos de estas frutas, por eso se recomienda usar una T° de 85°C que disminuye esta característica y conserva otras características deseables del proceso (Caparino, Nindo, Tang, & Sablani, 2017).
- Zotarelli, da Silva, Durigon, Hubinger, & Laurindo, (2017) investigaron la producción de polvo de mango mediante secado por aspersión y secado con

ventana refractiva, con y sin la adición de maltodextrina. Se compararon la humedad, y el color de los polvos de mango de ambos procesos de secado. Se concluye que el secado con ventana refractiva es un procedimiento adecuado para la producción de polvos de mango basándose en los resultados favorables de color.

1.5.2 Convección forzada aplicada en frutas de interés

- Sogi, Siddiq, & Dolan, (2015) deshidrataron cubos de mango utilizando diferentes técnicas; Liofilización, convección forzada, vacío e Infra-rojo. Se obtuvo que las características fisicoquímicas de los polvos de mango secos y congelados ofrecen una posible aplicación en productos alimenticios y la solubilidad del polvo secado por convección forzada fue la más alta que las demás.
- Se investigó sobre el secado de mango utilizando tres métodos básicos de secado: secado al aire libre en bastidores de malla de alambre; secado solar en un secador prototipo equipado con extractores de energía solar; y secado con aire forzado en un secador de bandejas a escala de laboratorio. De estos métodos, se encontró que el secado con aire forzado proporciona los mejores resultados globales, en función de las tasas de eliminación de agua y el control general sobre el proceso de secado. Se encontró que una velocidad lineal de 0.5 m/s era suficiente para un secado satisfactorio de las rodajas de mango cuando se combinaba con una temperatura del aire en el rango de 50 °C a 60 °C (Mercer, 2013).
- Zotarelli, Porciuncula, & Laurindo, (2012) evaluaron la aplicación de un proceso convectivo de secado con adición de pulso de vacío a la producción de mango deshidratado. Se procesaron muestras a 60 °C por aire caliente, y se aplicó un pulso de vacío, que dio lugar a deshidratación mediante una combinación de secado por convección y evaporación rápida. El mango tenía un contenido de humedad de 9% después de 4 h de procesamiento. Estos resultados indican que el proceso de secado por convección y pulso de vacío puede aplicarse para producir frutos crujientes y es una alternativa al proceso de liofilización.
- Se secó espuma de mango Tommy Atkins para evaluar el efecto de la lecitina de soja (L) y la carboximetilcelulosa (CMC) utilizadas como estabilizadores de espuma, con temperatura (T) (53-87 °C), y se evaluó el contenido fenólico y la capacidad antioxidante del mango. Los resultados indicaron que L y T tuvieron efectos negativos sobre el contenido fenólico y la capacidad antioxidante, mientras que la CMC tuvo un efecto positivo. Se concluyó que a una T° de secado de 80 °C y utilizar CMC es óptimo para una mayor

retención de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante (Lobo et al., 2017).

- (Dorta, Lobo, & González, 2012) estudiaron el efecto de diferentes tratamientos de secado sobre la actividad antioxidante de la cáscara y la semilla de mango. El secado por convección forzada a 70 ° C tuvo un efecto negativo sobre la capacidad antioxidante de la cáscara de mango y semilla, comparándolo con el proceso de liofilización (Dorta et al., 2012).
- (Corzo, Bracho, & Alvarez, 2008) secaron con aire caliente rodajas de mango verdes y medio maduras con un espesor promedio de 0,3 cm. Se encontró que a una velocidad del aire de 1,80 m/s las rodajas eran más sensibles a la temperatura mientras que a 1,91 m/s era el menos sensible a la temperatura.
- Nieto, Castro, & Alzamora, (2001) investigaron el efecto de deshidratación osmótica con jarabes de glucosa sobre el secado con aire del mango a 60° C. Se concluyó que pretratamientos osmóticos disminuyen la velocidad de secado debido a la captación de glucosa durante la etapa de impregnación.
- Se estudió el mango taiwanés afectado por diferentes tratamientos de secado con tratamiento previo. Los mangos se remojaron en solución de hidrogenosulfito de sodio al 1% o solución de ácido ascórbico al 1%, antes del secado al aire caliente y la liofilización. Los resultados mostraron que, para el secado al aire caliente, con o sin remojo, se produjo un producto de mango de color naranja profundo, comparando con los resultados de la liofilización el mango era de color amarillo (Chen, Tai, & Chen, 2007).
- Se investigó sobre el secado por aire caliente en mango con 3 mm de espesor y 1,5 m/s de velocidad del aire. Los resultados demuestran que hay un cambio significativo en el parámetro del color y la T° óptima de secado fue a 80°C durante 3 horas. (Goyal, Kingsly, Manikantan, & Ilyas, 2006).
- Yan, Sousa-Gallagher, & Oliveira, (2008) investigaron en frutas como plátano, piña y mango con secado con aire. Las frutas se secaron hasta aproximadamente 5% en peso de humedad en un secador de horno a 70°C. Con el peso de las rodajas de frutas disminuyendo durante el secado, la humedad del plátano seco, piña y mango mostró un mínimo de aproximadamente 24%, 6% y 30%, respectivamente.
- Villa-Corrales, Flores-Prieto, Xamán-Villaseñor, & García-Hernández, (2010) llevaron una experimentación con el mango Ataulfo, se consideraron diferentes espesores, temperatura de secado al aire y grado de madurez. Los resultados concluyen que para los trozos de mango la tasa de secado se reduce en un 4,5% con un aumento de 1 mm de grosor, y disminuye en 8,0% para cada 1 °Brix aumentado.
- En el secado de cubos de mango con aire caliente estudiado por Váquiro H, Ferreira R, et al, (2012) se evalúa la variación de volumen a lo largo del

proceso en diferentes condiciones de velocidad y temperatura del aire de secado. Se usaron cubos de mango de 25 mm de lado, y se secó durante 160 minutos.

- Se analizó el efecto del tratamiento con ultrasonido (20KHz) en la deshidratación convectiva de piña y mango. En la deshidratación por convección, y el pretratamiento con ultrasonido se lograron mejores velocidades y menores tiempos de deshidratación. Se cortaron ambas frutas a 5 mm de espesor, y se secaron a 60°C durante 10 horas (Orrego C, Salgado N, Vásques E, 2014).
- Se procesa mango cortado en forma cilíndrica con pretratamiento osmótico con sacarosa y luego secado con aire caliente para producir mango cristalizado conservando las propiedades organolépticas de la fruta fresca. Primero se deshidratan osmóticamente durante 72 horas y luego se secan con aire a 35°C, los resultados finales del producto lograron alcanzar concentraciones entre 68 grados Brix y 72°Bx (Giraldo et al., 2005).
- Se inspeccionaron los efectos de las técnicas de secado por liofilización, microondas y aire caliente (80 °C) sobre el color, las características de secado, la capacidad antioxidante y el contenido fenólico total de las rodajas de mango. En comparación con la muestra fresca, las muestras secas mostraron una disminución de 18.4-54.6% en la capacidad antioxidante. El valor del contenido fenólico total fue más bajo para las muestras secadas al aire caliente respecto a los otros tratamientos de secado, del mismo modo con el color donde se presentó mayor pardeamiento (Izli, Izli, & Taskin, 2017).
- Se investigaron los efectos de los métodos de secado al sol, gabinete de modo mixto y convección forzada sobre el contenido fenólico total en frutas como plátano, mango, piña y tomate. Las muestras secadas por convección forzada tienen menor disminución de los antioxidantes respecto a los otros métodos debido a las temperaturas de secado más altas pero con tiempos de secado más cortos. (Richard, Bernadette, Trude, Lucy, & Bernard, 2015).
- de Lima et al., (2016) utilizó métodos de impregnación combinados con secado por convección para producir snacks de piña fortificados con calcio. En los resultados los productos que se impregnaron al vacío presentaron una concentración de Ca mayor del 91%. La impregnación con cloruro de calcio aumentó las velocidades de secado e influyó positivamente en las propiedades físicas del producto secado por convección.
- Rodríguez, Gomes, Rodrigues, & Fernandes, (2017) investigaron en como la aplicación de un pretratamiento acústico influye sobre las vitaminas (C, B1, B2, B3 y B5), entre otras propiedades nutricionales y organolépticas de la piña. Las muestras se secaron a 60°C y 0,5 m/s durante 8 h. La asistencia acústica promovió un incremento de las vitaminas B1, B2, B3 y B5, el

contenido total de flavonoides y una reducción de la vitamina C, la actividad antioxidante y del contenido de ácido cítrico en las muestras tratadas. Sin embargo, el contenido final de esos parámetros de calidad fue mayor que el observado en la muestra seca no tratada acústicamente.

- Se utilizó una combinación de infrarrojos intermitentes y secado por convección forzada para secar varias muestras de papa previamente tratadas osmóticamente con soluciones de NaCl y piña (en soluciones del 30%, 50%, 70% Brix). Se investigó el efecto de las condiciones de secado sobre los cambios de color de la papa y la piña. Se concluyó que con la elección apropiada de la intermitencia infrarroja, así como el pretratamiento osmótico, es posible reducir el cambio de color (Tan, Chua, Mujumdar, & Chou, 2001).
- Se secó piña, estas fueron pretratadas, cortadas en anillos de 10 mm y secadas a temperaturas de aire de 40-60 ° C y velocidades de aire de 0.5-1.5 m/s el proceso duró 8 horas (Ponkham, Meeso, Saponronnarit, & Siriamornpun, 2012).
- Se determinó el cambio del contenido de ácido L-ascórbico en medias rodajas de piña a través del secado en diferentes condiciones (45, 60 y 75 °C). Se encontró que la retención de ácido L-ascórbico era máxima cuando la temperatura de secado se fijaba en 45 °C, además de que la reducción del espesor de las rodajas no dependía de la temperatura sino del contenido de agua propio de la fruta. (Ramallo L, Mascheroni L, 2004).
- Los autores Corrêa, Rasia, García-Pérez, Mulet, & Cárcel, (2013) han estudiado algunas opciones para aumentar la velocidad de secado por convección, incluyendo pretratamientos en líquidos o la aplicación de ultrasonidos. Los resultados muestran que la aplicación de ultrasonido durante el pretratamiento y durante el secado aumentó la difusión de vapor de agua y redujo del tiempo de secado. Se concluyó que el uso de ultrasonidos en el pretratamiento o en el secado por convección podría mejorar los procesos de secado.
- Se secaron rodajas de piña de 10 mm de espesor por convección forzada se observó la pérdida de volumen. Se determinó que para la técnica de convección forzada se tomaba menos tiempo (15 hr) en obtener muestras con un porcentaje de humedad de 10% (Gwala & Padmavati, 2016).
- Se investigaron el efecto de la glucosa y la impregnación de azúcar invertida sobre la velocidad de secado convectivo de la piña. El secado por convección se realizó en un secador por convección forzada que utiliza aire caliente a 60 °C y 1,25 m/s. En las frutas pretratadas osmóticamente se observó un

aumento en la concentración de la solución fue seguido por una disminución en la velocidad de secado convectivo (Dionello et al., 2009).

- Se estudiaron las características de secado al aire de rebanadas de piña frescas y tratadas osmóticamente en un secador por convección forzada. La velocidad del aire varió de 1,5 a 2,5 m/s y la temperatura del aire de 40 a 70 ° C. Se demostró que el tratamiento osmótico puede ser una alternativa para reducir el tiempo de secado de las rodajas de piña (Nicoletti, Telis-Romero, & Telis, 2001).
- Se estudió el secado de piña fresca y piña pretratada con solución de sacarosa, las muestras tenían 3 mm de espesor y el aire caliente tenía rangos de temperatura de 60, 70 y 80 ° C. Los resultados mostraron que el contenido de humedad disminuyó al aumentar las temperaturas y los tiempos de secado además el aumento en la concentración de sacarosa condujo a un mayor tiempo de secado (Tanongkankit, 2016).
- Udomkun et al., (2015) investigaron el efecto de los parámetros de secado al aire como la temperatura, humedad y velocidad, el comportamiento de pardeamiento no enzimático y las propiedades antioxidantes de las papayas osmóticamente pretratadas. Las temperaturas de secado más altas dieron como resultado una disminución significativa del contenido de humedad y de la actividad de enzimas, mientras que el grado de color dorado aumentó. La actividad antioxidante y los compuestos fenólicos totales aumentaron con la temperatura y también con la disminución de la velocidad del aire. Se concluyó que para obtener el producto con el mayor nivel de compuestos bioactivos el tratamiento con temperatura de 70 ° C y una velocidad de 0,2 m/s resultó ser la opción más adecuada.
- Los autores (Udomkun, Argyropoulos, Nagle, Mahayothee, & Müller, 2015) estudió la absorción de humedad de papayas frescas, después de ser secadas con convección forzada y pretratadas osmóticamente. Se analizó la composición química y el volumen. Los resultados mostraron que el tiempo requerido para alcanzar el contenido de humedad en equilibrio dependía principalmente de la temperatura, el nivel de actividad del agua y el método de procesamiento. Se concluyó que la absorción de agua de las muestras depende del contenido de azúcares y modificaciones estructurales después del secado.
- Los autores Lemus-Mondaca et al., (2009) investigaron el efecto del pretratamiento osmótico sobre la calidad de la papaya chilena seca. Los tratamientos osmóticos fueron soluciones de sacarosa 60°C; las muestras no pretratadas se secaron a diferentes temperaturas (40°C, 60°C y 80°C). Las muestras no pretratadas mostraron una clara pérdida de volumen, pérdida de color y baja retención de ácido ascórbico. El pretratamiento osmótico

mejoró la calidad de las papayas, mostrando mayor retención de ácido ascórbico y mejor firmeza y color.

- Kurozawa, Terng, Hubinger, & Park, (2014) estudiaron la degradación del ácido ascórbico durante el secado al aire caliente de cubos de papaya. Los resultados muestran que a 70 ° C la muestra de papaya permaneció en estado gomoso hasta el final del secado, por otro lado, se comprobó que a 40 ° C la tasa de degradación de los nutrientes fue muy lenta.
- Syed Mazar A. et al, (2015) examinaron la posibilidad de producción comercial de polvo de papaya de alta calidad utilizando secado por convección forzada. Se observó que el tiempo de secado requerido para la pulpa de papaya espumada era menor que la pulpa no espumada para todas las temperaturas seleccionadas. Los resultados del análisis mostraron una reducción significativa en el contenido de ácido ascórbico y β -caroteno en el polvo de papaya obtenido a temperaturas más altas en comparación con la pulpa secada a una temperatura más baja de 60°C.
- El secado de las semillas con y sin mucílago se realizó en un secador de bandeja con convección forzada. El proceso de secado de las semillas de papaya está fuertemente influenciado por la temperatura y la presencia de mucílago. El mucílago tardó más en secarse. La temperatura que obtuvo menos tiempo de secado fue a 60°C con 20 horas para las semillas con mucílago y 12 horas para las semillas sin él (Oliveira A, Mendoza S, et al, 2014).
- Se analizan los cambios de volumen de papaya durante el secado. Se usan cilindros de papaya (2 cm de diámetro y 2 cm de alto). Se usaron dos temperaturas 40 y 70°C, inicialmente, los cilindros se reducían a medida que disminuía el contenido de humedad. Al finalizar el secado, el comportamiento del volumen fue diferente para cada T°, a 40°C fue más poroso y se formaron bolsas de aire, mientras que hubo mayor encogimiento a 70°C. (Rodríguez-ramirez, Ramirez-lavariaga, Lilia, & Sosa, 2016).
- Se ha estudiado el secado por aire caliente de papaya chilena con velocidad de aire de 2.0 ± 0.2 m/s. Durante las experiencias se observaron los periodos de inducción, velocidad constante y decreciente Vega & Lemus, (2006) concluyeron que el proceso de secado de la papaya presenta dependencia con la temperatura con 300 minutos aprox para T° de 70 y 80°C, y su proceso alcanzó una humedad de equilibrio cercana al 5% para cada temperatura de secado; sin embargo, no evaluaron parámetros significativos de calidad como color, sabor, aroma, texturas y pérdida de vitaminas.
- Se compararon de las propiedades de papaya maradol después de deshidratada por deshidratación osmótica y por aire caliente. Las frutas se cortaron en cubos de $2,5 \times 2,5 \times 1,0 \pm 0,02$ cm (ancho, largo y espesor) y se

deshidrataron osmóticamente a 60 °C durante 10 horas y en convección forzada a 60 °C durante 5 horas. No se hallaron diferencias significativas de las propiedades evaluadas (masa y pérdida de peso) por lo que se obtienen resultados similares por ambos métodos, pero, con respecto al tiempo de deshidratación se encontraron diferencias significativas entre dichas propiedades (Valdés, Becerá, Pereira, Beyra, & Valdés, 2015).

- Se ha hecho un estudio deshidratando guayaba pera por los métodos de liofilización y convección forzada, se comparó como afectan estos métodos de secado al contenido de vitamina C en la fruta. Finalmente se concluyó que el trabajo con liofilización es un trabajo muy costoso con el que trabajar, también que el tiempo de congelación de 6 horas es el que mayores valores presentó de conservación de vitamina C; el proceso de liofilización es el que mejor conservó las propiedades funcionales de la fibra dietaria, aunque no se vieron afectadas en el secado por convección forzada, adicionalmente los mejores resultados obtenidos de vitamina C en el secado por convección forzada fueron los trabajados a 40°C y a 3 m/s de velocidad del aire (Serpa G, Castrillón Martínez, Vásquez Osorio, & Hincapié Llanos, 2015)
- Chua, Mujumdar, Chou, Hawlader, & Ho, (2000) secaron trozos de plátano, guayaba y papa en un secador por convección forzada. Las variaciones de temperatura del aire probadas fueron de 20 ° C a 40 ° C, el tiempo de secado para la guayaba fue de aproximadamente 300 minutos. Con la elección apropiada de la variación temperatura-tiempo, es posible reducir el cambio de color manteniendo al mismo tiempo altas velocidades de secado.
- Se evaluó el efecto de secado en guayaba, y se sumergieron trozos de guayaba en soluciones de sacarosa, sacarosa y sucralosa, una solución de azúcar invertida al 40% (p/p) y solución invertida no diluida de jarabe de azúcar. Después de la deshidratación osmótica se llevó a secado convectivo y se realizó a 55 ° C empleando una velocidad de aire de 1,28 m/s. En general para todos los pretratamientos se presentó un aumento en los °Brix a la vez que se reducían los porcentajes de proteínas, lípidos, fibras y cenizas (Queiroz et al., 2009).
- Se determinaron las propiedades antioxidantes tanto de guayabas frescas como después de secadas por convección. Las rebanadas de guayaba de 1,0 cm de ancho, 3,0 cm de largo y 0,5 cm de espesor (20 g) fueron sometidas a secado por convección a 40 ° C durante distintos tiempos de secado, se analizó su contenido fenólico total y antioxidantes. La capacidad antioxidante equivalente de la guayaba disminuyó durante todos los tiempos de secado. Se comprobó que cuanto mayores eran los tiempos de secado existía una disminución significativa en el contenido fenólico. Se demostró que 9 horas

de secado de convección retienen la mayor parte de fenoles y antioxidantes (Siow & Hui, 2013).

- Se investigó la influencia del tratamiento osmótico seguido del secado convectivo sobre rodajas de guayaba, esta se cortó en rodajas de $3,0 \times 2,0 \times 0,9$ cm, y se sometió a pretratamiento osmótico en jarabe de sacarosa y posteriormente a secado por convección. Las muestras de guayaba con y sin tratamientos osmóticos fueron sometidas análisis de sólidos solubles, humedad y pH. El color se tornó más oscuro, el pH y la humedad disminuyeron. Entre los resultados se recomienda para que la producción de guayaba sea eficiente debe pasar bajo condiciones de osmodeshidratación de 60 °Brix a 50 °C y una temperatura de secado adicional de 60 ° (de Castro et al., 2016).
- Sanjinez-Argandoña, E. J, (2005) investigaron sobre la degradación del contenido de ácido ascórbico y carotenoides en las guayabas pretratadas osmóticamente y con secado convectivo. La deshidratación osmótica se realizó con solución de sacarosa al 60% y luego se secó a 60°C hasta un 11% de contenido en humedad. Los resultados mostraron que la retención de carotenoides varió de 66 a 70% y la de ácido ascórbico fue alrededor de 20 a 35% de los valores originales en las guayabas osmoticas pretratadas y secas.
- Se estudió el efecto del pretratamiento osmótico en la cinética de secado al aire en rodajas de guayaba. El pretratamiento se realizó a 40°C y 50°C con 65°Brix de sucralosa. Los frutos frescos y pretratados fueron sometidos a secado convectivo a 70°C y velocidad de aire de 1 m/s. El pretratamiento tuvo un efecto significativo en el proceso de secado al aire, aunque se comprobó que no influye en la velocidad de secado (Cabrera, Sanjuán, Panadés, & Cruz, 2016).
- Se obtuvo la cinética de secado de la guayaba pera a distintas temperaturas y a una velocidad constante del aire de 3 m/s. El tiempo de secado disminuye conforme se incrementa la temperatura de operación. Aunque no hay diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos, hay una tendencia en las propiedades evaluadas, a aumentar a medida que aumenta la temperatura, siendo los mejores resultados a 70 °C (Vásquez D, Hincapié G, 2012).
- Ordóñez-Santos, Portilla, & Rodríguez, (2013) evaluaron la cinética de degradación térmica de la vitamina C en frutos de guayaba, en un rango de temperaturas de 75-95 °C. Las rodajas de guayaba de 0,53 cm de grosor se sometieron a los tratamientos térmicos durante 10, 20, 30 y 40 minutos. La concentración de vitamina C en las muestras antes y después del tratamiento térmico disminuyó entre 70-60%. Los resultados de tiempo de secado a 40 min, y 75°C es donde se obtuvo mayor concentración de Vitamina C.

2. METODOLOGÍA

2.1 METODOLOGÍA PARA DEFINIR FACTORES CLAVE EN EL SECADO

Se realizó una revisión bibliográfica para comprobar cuáles son las condiciones que influyen el proceso de secado de las frutas para obtener un producto deshidratado, entre las cuales están la temperatura, velocidad del aire, tiempo de proceso, estructura de la fruta, distribución espacial, humedad inicial, entre otros. De esta forma se establecieron cuáles de los factores que determinan la mayor afectación en los criterios (color, °Brix, humedad, entre otros) del producto basándose en los tratamientos del proceso para las frutas mango, guayaba, piña y papaya.

La revisión sistemática de la literatura descrita por Pérez (2012) utilizando bases de datos Scopus, Scielo, Science Direct, Researchgate, bases de datos de la Universidad Pontificia Bolivariana, Universidad de Antioquia, Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Caldas. En la búsqueda de artículos se utilizaron palabras clave, cuyas ecuaciones de búsqueda se mostrarán en los resultados de este trabajo, que se relacionaban con todas las técnicas de secado; posteriormente se delimitaba la búsqueda de información segmentando solo secado en alimentos y las técnicas de ventana refractiva y convección forzada, Finalmente se buscaron todas las referencias relacionadas con las frutas mango, piña, papaya y guayaba.

A partir de los artículos encontrados se realizaba una búsqueda de los factores y variables de respuesta más frecuentes o rangos promedio, los cuales fueron compilados y se muestran en los anexos 1 y 2.

2.2 METODOLOGÍA PARA EL SECADO DE MANGO EN LABORATORIO

2.2.1 Localización

La parte aplicada del trabajo de profundización se realizó en los laboratorios de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Pontificia Bolivariana - sede Medellín, con una temperatura de 23°C y una humedad relativa 58%.

2.2.2 Material vegetal

Los mangos con los que se realizó el trabajo de laboratorio son de tipo Tommy Atkins. Se seleccionó esta variedad porque es la más comercializada a nivel nacional. Los mangos se adquirieron en los mercados locales de la ciudad de Medellín con índice de madurez tipo 3 según tabla de color de la NTC 1266.

2.2.3 Equipos y herramientas

A continuación, se detallan los equipos y herramientas que se utilizaron en el trabajo:

- Equipo de ventana refractiva marca Thermaltec
- Equipo de convección forzada construido en los laboratorios de ingenierías de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín
- Despulpadora
- Tabla de picar
- Chuchillos
- Refractómetro
- Colorímetro
- Balanza
- Crisoles
- Pinza
- Horno desecador

2.2.4 Análisis bromatológico del mango fresco

Las pruebas de contenido de humedad, acidez, proteína, cenizas, carbohidratos, calorías, grasa total y vitaminas A y C, se realizaron por prestación de servicios en la empresa TECNIMICRO según metodología descrita en la Tabla 5. Con el único propósito de conocer las especificaciones bromatológicas al momento de recibir la fruta.

Tabla 5. Metodologías para el análisis bromatológico

Análisis Bromatológico	Método
Humedad	A.O.A.C 925.45 Ed. 18 Modificado
Acidez	A.O.A.C 942.15. Ed. 19
Proteína	A.O.A.C 988.05 Ed. 18
Ceniza	A.O.A.C 923.03. Ed. 19
Grasa total	A.O.A.C 920.39 Ed. 19 de 2012
Carbohidratos	Cálculo por diferencia de componentes diferentes a carbohidratos.
Calorías	Cálculo a partir de grasa, proteína, carbohidratos.

2.2.5 Balance de materia

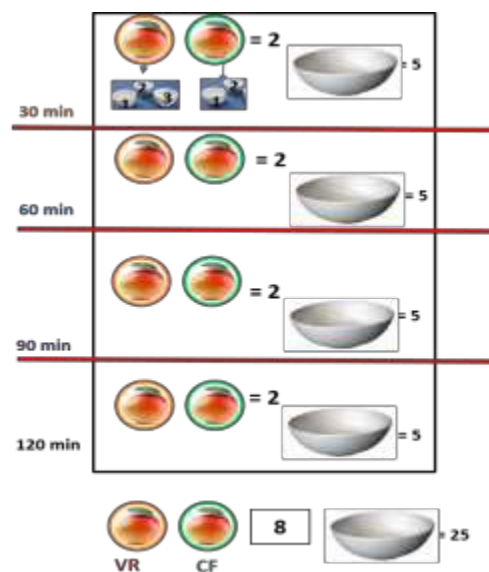
En el proceso previo de secado se realizó un balance de masa con la intención de obtener el rendimiento de pulpa sobre la fruta, donde se procedió a descascarar,

cortar la pulpa y extraer el jugo separando la parte fibrosa en un extractor de jugos en el cual se pasó la pulpa 2 veces. Con el peso inicial de las frutas y el peso final del jugo se obtuvo el porcentaje de rendimiento del fruto.

2.2.6 Diseño experimental

Las muestras se dispusieron en estado líquido para ambos tipos de secado. Para las evaluaciones de color, °Brix y humedad se realizaron análisis por triplicado para ventana refractiva el cual se realizó en un secador Thermaltec a 90°C y el secador por convección forzada a 70°C el cual fue construido en los laboratorios de ingenierías de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín. Los análisis planteados para cada muestra obtenida por VR se hicieron por triplicado, mientras las muestras obtenidas por CF se realizaron por duplicado. En convección forzada se realizó por duplicado debido a la cantidad de materia prima con la que se trabajó, además de la falta de espacio por parte del equipo para cubrir la cantidad de muestras necesarias durante el tiempo requerido hasta llevar la fruta a su humedad final. En la Figura 22 se muestra cómo se llevó a cabo la toma de muestras donde se extraía una de cada proceso de secado cada 30 minutos durante 120 minutos, sin embargo, para el secado por CF se continuó secando hasta los 360 minutos, tiempo que no se consideró para la comparación de resultados.

Figura 22. Ilustración diseño experimental



Fuente: Propia

2.2.7 Método para determinar el color en fresco y muestras secas

Para la medida del color en las muestras tomadas cada 30 minutos se siguió la metodología descrita en el punto 2.2.6 donde para ambos procesos se secó durante 120 minutos. Se utilizó un espectrofotómetro de esfera X-Rite, modelo SP-60, con una abertura de 4 mm, iluminante D-65 y observador de 10° como referencia, a partir de los espectros de reflexión se obtienen las coordenadas de color del CIE-L*a*b*, donde L* es un indicador de la luminosidad, a* representa la cromaticidad verde (-) a rojo (+) y b* representa la cromaticidad azul (-) a amarillo (+). A cada muestra tomada se le realizó tres medidas ecuatoriales en la superficie para obtener los datos de las coordenadas L, a, b y se expresaron como promedio aritmético (Almela *et al.*, 2000).

2.2.8 Método para la determinación de %H y SST en fresco y muestras secas

El porcentaje de materia seca o humedad se determinó por la diferencia de peso, luego secar las muestras de pulpa a 60°C durante 24 horas en un horno de convección forzada Thermolab 115 marca DIES. La materia seca se calcula por diferencia a partir de los valores obtenidos de humedad (Yepes, 2011).

La valoración de los sólidos solubles totales se realizó por el método refractométrico, utilizando un equipo Leica auto ABBE con escala de 0-32% a 23°C. Los resultados se expresaron como °Brix (Bernal de Ramírez, 1993). Sin embargo, para las lecturas de las muestras en el equipo fue necesario hacer una disolución 1 a 1 con agua, el resultado obtenido se multiplicó por dos para tener el resultado final.

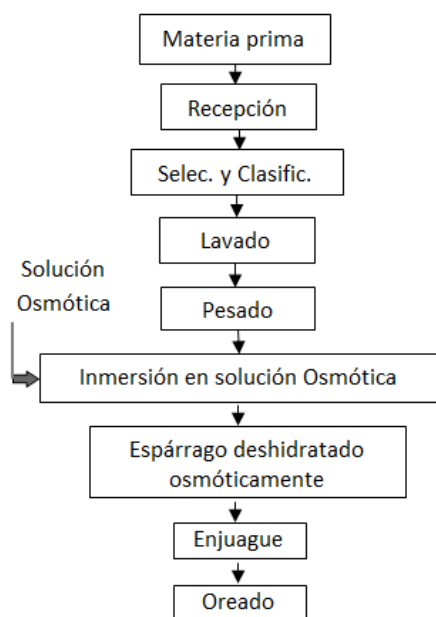
2.3 METODOLOGÍA DEL PROCESO DE SECADO POR VR

Para establecer una metodología que permita realizar eficientemente la deshidratación de frutas por medio de la técnica de secado por ventana refractiva, partiendo del principio de que la metodología se constituye en la expresión operativa del desarrollo funcional del proceso de secado, donde es necesario en primera instancia identificar los procesos básicos y disponer de la información necesaria para la definición de las actividades y los recursos que se requiere para su diseño, como, por ejemplo:

- Identificación de los parámetros de selección, lavado y procesado de las frutas.
- Identificación de los tratamientos previos para la deshidratación de las frutas.
- Información de las condiciones del equipo de secado según la materia prima.
- Identificación de cada uno de los procesos con sus respectivas especificaciones.
- Elaboración del o los diagramas de flujo, según sea el caso.

Se tendrá en cuenta la siguiente representación simbólica para la construcción e identificación de los procesos necesarios para el secado de frutas por medio de la técnica de secado por ventana refractiva.

Figura 23. Ejemplo de diagrama de proceso



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente capítulo muestra la actividad principal del trabajo de profundización para la Maestría en Diseño y Gestión de Procesos Industriales; en la investigación realizada la información se compiló durante toda la etapa de experimentación y se organizó para ser presentada en forma de tablas y figuras, las cuales son el insumo para el análisis y la discusión, de tal manera que se pueda plantear conclusiones pertinentes para la comunidad académica, investigativa y productiva. Se ha seguido el orden de los capítulos planteados tanto en la revisión bibliográfica como en la metodología, de tal forma que sea una secuencia adecuada y amigable para el lector.

Dentro de los principales aportes del trabajo, sobresalen los aspectos relacionados con los factores críticos en el proceso de secado por ventana refractiva y convección forzada en frutas como mango, piña, papaya y guayaba los cuales se tuvieron en cuenta los más utilizados por los autores en la revisión bibliográfica encontrada; basándose en lo evidenciado en la bibliografía se realizó un diseño experimental donde se buscaba comparar ciertos criterios como color, °Brix y humedad en pulpa de mango secada por convección forzada y ventana refractiva; Además, se propone una metodología para realizar el proceso de secado por ventana refractiva para el mango en el equipo que se encuentra en el laboratorio de Procesos agroindustriales de la Universidad Pontificia Bolivariana.

A continuación, se presentan los resultados y análisis con los cuales se puede comprobar el trayecto del trabajo de profundización.

3.1 RESULTADOS REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

A continuación, se presentan los resultados y análisis de los datos encontrados con las ecuaciones de búsqueda para artículos relacionados con las técnicas de secado por ventana refractiva (VR) y convección forzada (CF).

Tabla 6. Búsqueda de artículos sobre con métodos de secado

Ecuación de búsqueda en Scopus para artículos relacionados con la tecnología de secado.
TITLE-ABS-KEY ("dry* technique" OR "dehydration technique" OR " dry* process" OR " dry* method") AND PUBYEAR > 2000

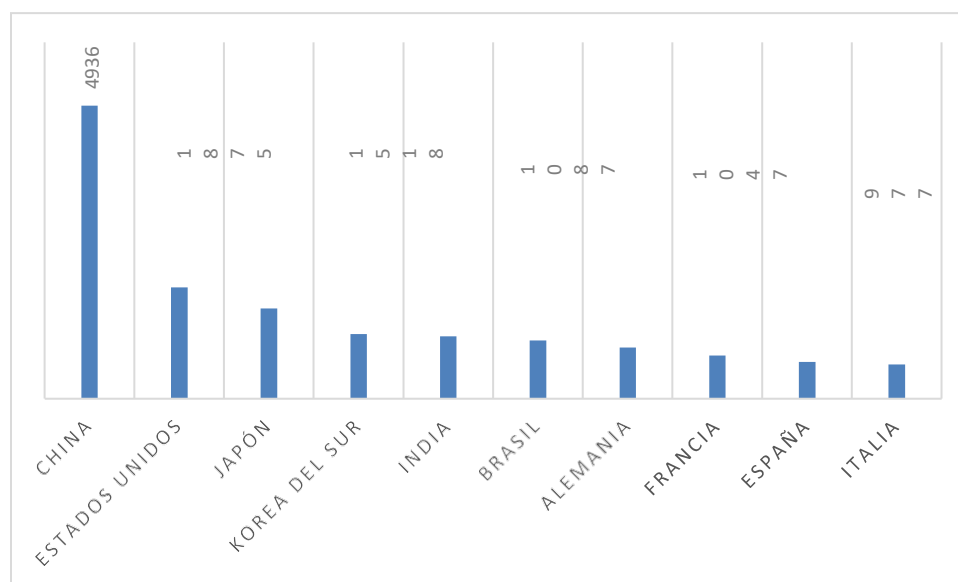
Fuente: Propia

Con base a la ecuación de búsqueda general se obtuvieron 20.091 artículos totales desde el año 2000 hasta el año 2017. Con esta información se obtuvo lo siguiente:

3.1.1 Países que más investigan sobre técnicas de secado

De acuerdo a la figura 24 el país que más destaca respecto a la investigación en técnicas secado sobre cualquier elemento u objeto es China con 4.936 documentos, le siguen Estados Unidos y Japón con poco menos de 2.000 publicaciones. El único país de Latinoamérica que se encuentra en el top 10 es Brasil con cerca de 1.000 documentos publicados desde el año 2.000 hasta 2017.

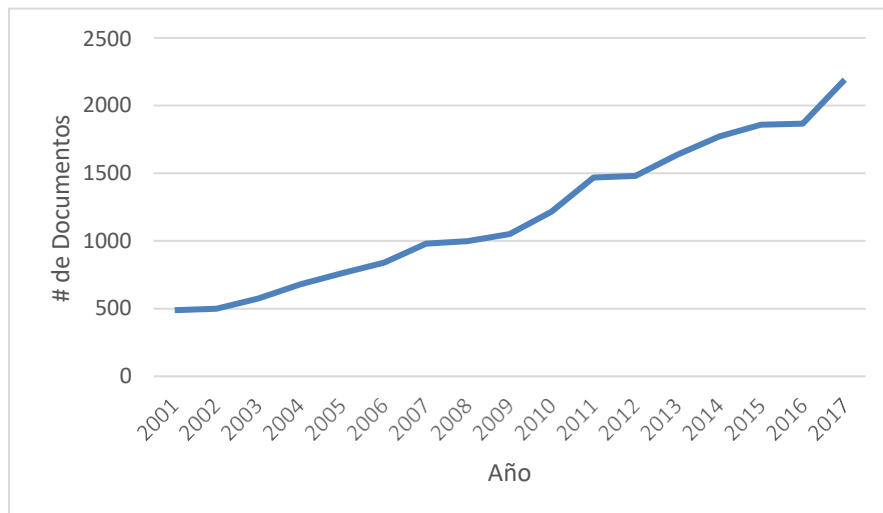
Figura 24. Top 10 de países que investigan sobre técnicas de secado.



Fuente: Scopus

En la figura 25 se observa un crecimiento en la investigación sobre las diferentes técnicas de secado aplicadas a alimentos en general entre los años 2000-2017 a nivel mundial. Donde pasa desde 500 publicados en el año 2001 a estar por encima de 2000 en el año 2017.

Figura 25. Documentos por año en investigación de técnicas de secado



Fuente: Scopus

Tabla 7. Búsqueda de artículos sobre las técnicas de secado de VR y CF

Ecuación de búsqueda en Scopus para artículos relacionados con las técnicas de secado por VR y CF.
(TITLE-ABS-KEY ("refractance windows drying" OR "drying hydro technique" OR " refractance windows") OR TITLE-ABS-KEY ("convective dry*" OR "hot air dry*" OR "hot-air convective" OR "hot-air convective drying technique")) AND PUBYEAR > 2000
TITLE-ABS-KEY ("refractance windows drying" OR "drying hydro technique" OR " refractance windows" OR "refractive window") AND PUBYEAR > 2000
TITLE-ABS-KEY ("convective dry*" OR "hot air dry*" OR "hot-air convective" OR "hot-air convective drying technique") AND PUBYEAR > 2000

Fuente: Elaboración propia

Con base a la ecuación de búsqueda general se obtuvieron 2.769 artículos totales desde el año 2000 hasta el año 2017. En la figura 26a no se ve un crecimiento constante sobre las publicaciones sobre secado en ventana refractiva, sin embargo, en 2015 es donde hubo mayor crecimiento de documentos con estas investigaciones, no obstante, ningún año sobrepasa las 10 publicaciones. De la misma manera se puede observar en el figura 26b un crecimiento constante sobre las investigaciones en la técnica de secado en convección forzada entre los años 2000 y 2017 a nivel mundial.

Figura 26. Documentos por año en investigación sobre secado en VR y CF

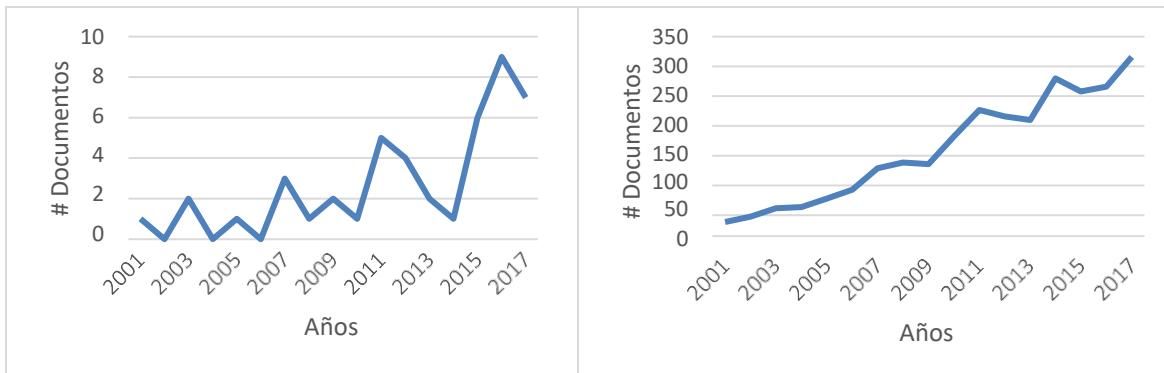


Figura 26a: Ventana refractiva (VR)

Figura 26b: Convección forzada (CF)

Fuente: Scopus

En la figura 27a ubicada a la izquierda enseña el top 10 de países que investigan sobre la técnica de secado en ventana refractiva, destaca Estados Unidos con 19 documentos publicados desde el año 2000, le sigue Colombia con 8 documentos. Los países de Latinoamérica que destacan en este top son Colombia, Brasil y México. En el figura 27b en la parte derecha es China donde más se investiga sobre secado en convección forzada con 533 artículos encontrados. El país latinoamericano que destaca en este top es Brasil con 168 artículos publicados.

Figura 27. Top 10 de países que investigan sobre secado con VR y CF

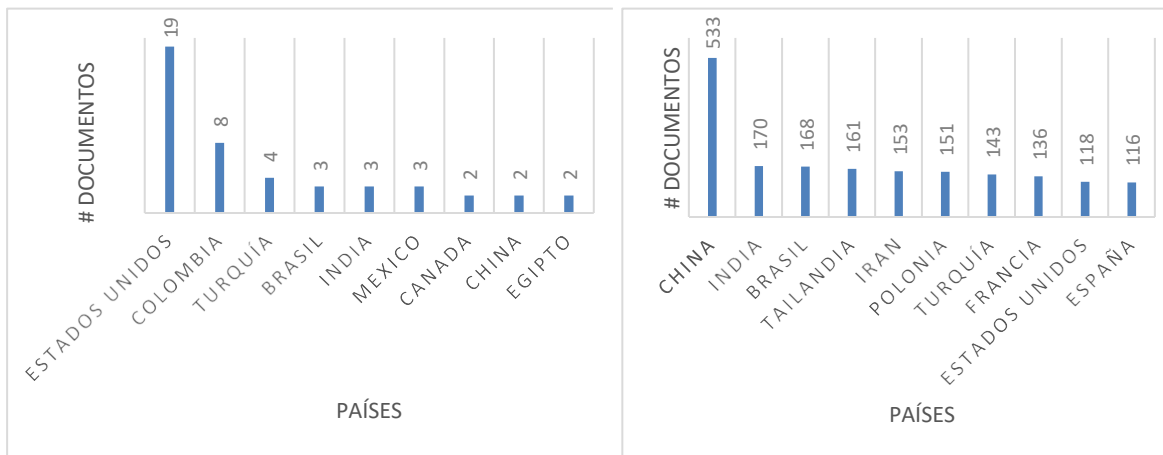


Figura 27a: Ventana Refractiva (VR)

Figura 27b: Convección Forzada (CF)

Fuente: Scopus

A continuación, se mostrarán las ecuaciones de búsqueda sobre los artículos de secado de ventana refractiva y convección forzada aplicados en frutas en general.

Tabla 8. Búsqueda de artículos sobre técnicas de secado de VR y CF en frutas

Ecuación de búsqueda en Scopus para artículos relacionados con las técnicas de secado por VR y CF aplicados en frutas
(TITLE-ABS-KEY ("refractance windows drying" OR "drying hydro technique" OR " refractance windows") OR TITLE-ABS-KEY ("convective dry*" OR "hot air dry*" OR "hot-air convective" OR "hot-air convective drying technique")) AND TITLE-ABS-KEY (effect OR evaluation OR factor) AND TITLE-ABS-KEY ("fruit*") AND PUBYEAR > 2000

Fuente: Elaboración propia

Con base a la ecuación de búsqueda general se obtuvieron 341 resultados de artículos totales desde el año 2000 hasta el año 2017.

En la primera figura 28a se observa un crecimiento en investigaciones por año en convección forzada y ventana refractiva en frutas, en el 2016 se presenta un pico que supera los 50 documentos en ese año. De acuerdo con la figura 28b China sigue destacando en investigación en técnicas de secado de ventana refractiva y convección forzada en alimentos con 54 artículos, los países latinoamericanos que se encuentran en este top son Brasil con 36 documentos y Argentina con 13.

Figura 28. Artículos/año y países que publican sobre VR y CF en frutas

Figura 28a. Artículos publicados por año (2000-2017)

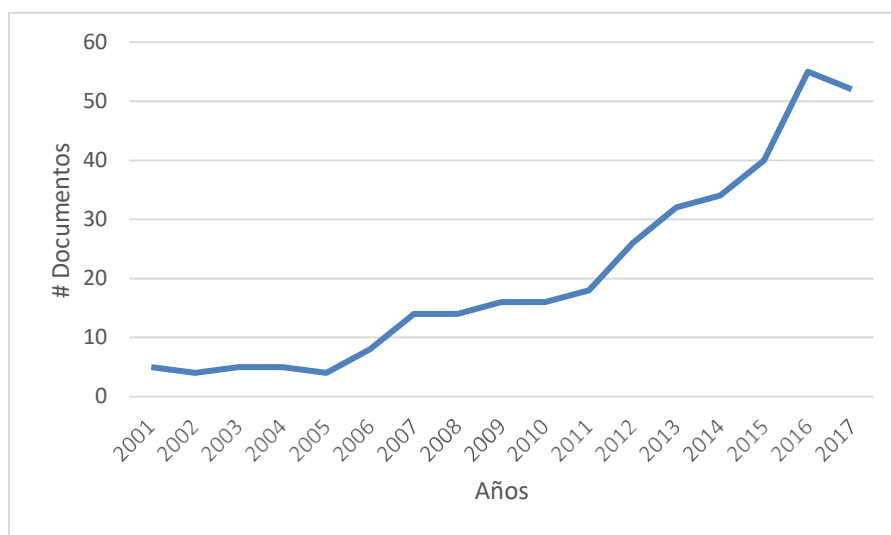
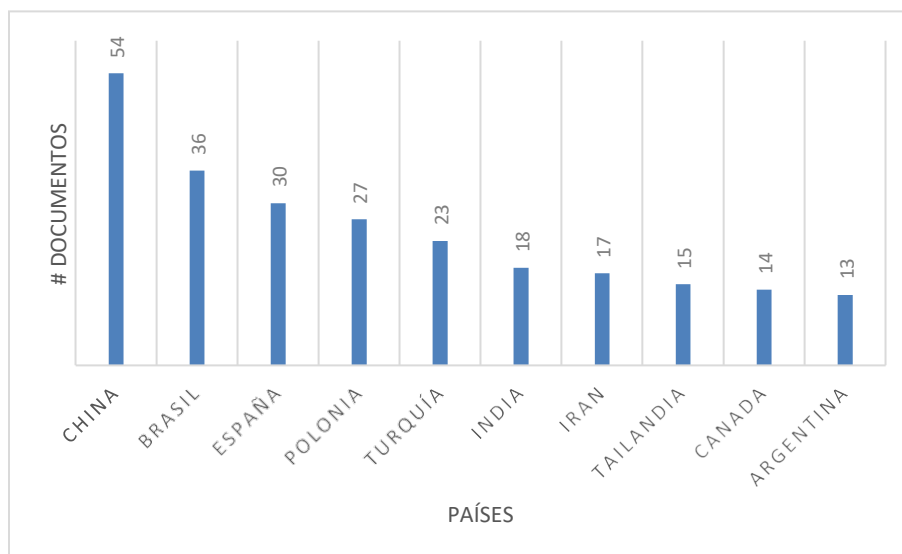


Figura 28b. Top 10 de países que publican sobre el VR y CF en frutas



Fuente: Scopus

A continuación, se mostrarán las ecuaciones de búsqueda sobre los artículos de secado de ventana refractiva y convección forzada aplicados en mango.

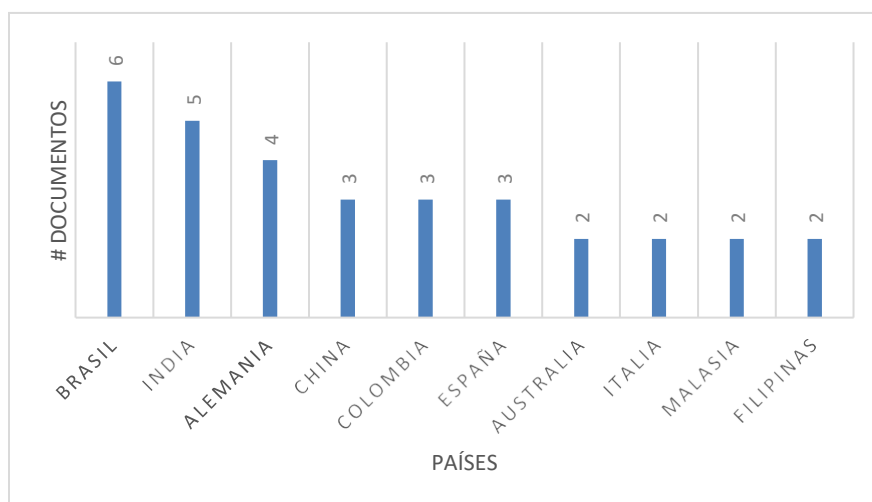
Tabla 9. Búsqueda de artículos sobre técnicas de secado de VR y CF en mango

Ecuación de búsqueda para artículos relacionados con las técnicas de secado de VR y CF en mango	(TITLE-ABS-KEY ("refractance windows drying" OR "drying hydro technique" OR " refractance windows") OR TITLE-ABS-KEY ("convective dry*" OR "hot air dry*" OR "hot-air convective" OR "hot-air convective drying technique")) AND TITLE-ABS-KEY (effect OR evaluation OR factor) AND TITLE-ABS-KEY (("mango" OR "mangifera indica L") AND PUBYEAR > 2000
Ecuación de búsqueda para artículos relacionados con las técnicas de secado de VR en mango	(TITLE-ABS-KEY ("dry* technique" OR "dehydration technique" OR " dry* process" OR " dry* method") OR TITLE-ABS-KEY ("refractance windows drying" OR "drying hydro technique" OR " refractance windows") AND TITLE-ABS-KEY (effect OR evaluation OR factor) AND TITLE-ABS-KEY ("mango" OR "mangifera indica L") AND PUBYEAR > 2000
Ecuación de búsqueda para artículos relacionados con las técnicas de secado de CF en mango	(TITLE-ABS-KEY ("dry* technique" OR "dehydration technique" OR " dry* process" OR " dry* method") OR TITLE-ABS-KEY ("convective dry*" OR "hot air dry*" OR "hot-air convective" OR "hot-air convective drying technique")) AND TITLE-ABS-KEY (effect OR evaluation OR factor) AND TITLE-ABS-KEY ("mango" OR "mangifera indica L") AND PUBYEAR > 2000

Fuente: Propia

En la figura 29 se observan los artículos publicados por país tanto en VR como en CF entre el año 2000 y 2017, los países de Latinoamérica que destacan son Brasil con 6 artículos y Colombia con 3.

Figura 29. Top 10 países que publican artículos sobre VR y CF en mango



Fuente: Scopus

En la figura 30a se aprecia en porcentajes que a partir de la primera ecuación de búsqueda se lograron encontrar artículos para convección forzada en mangos 15 artículos de los cuales 3 fueron de Brasil el cual representa un 20%, 2 de Canadá y de Colombia los cuales significan el 13,33% cada uno, para los demás países fueron 8 artículos encontrados 1 en cada país los cuales representan el 6,667% cada uno. En la figura 30b se observa igualmente que 5 artículos pertenecían al secado por ventana refractiva, de estos 2 artículos se encontraron en Brasil y Estados Unidos respectivamente, lo que forma un total del 80% de los artículos y 1 de Colombia lo que significa el 20%.

Figura 30. Artículos sobre CF y VR en mango

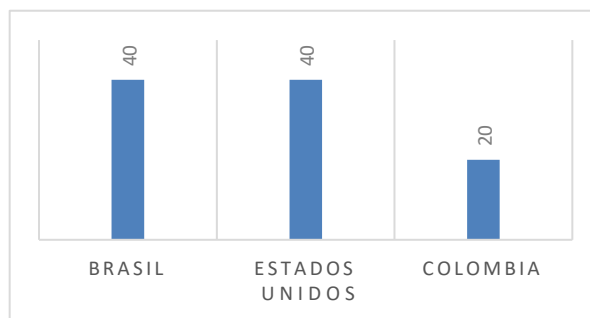
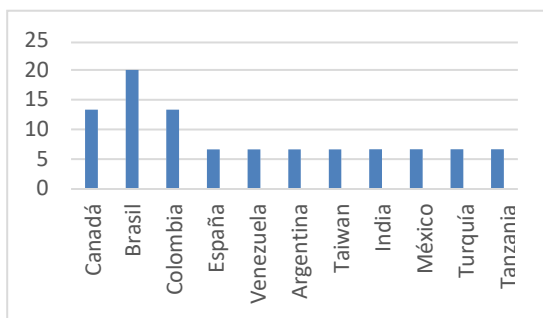


Figura 30a: Porcentaje de artículos procedentes de países que investigan sobre CF en mango

Figura 30b: Porcentaje de artículos procedentes de países que investigan sobre VR en mango

Fuente: Propia

A continuación, se mostrarán las ecuaciones de búsqueda sobre los artículos de secado de ventana refractiva y convección forzada aplicados en piña.

Tabla 10. Búsqueda de artículos sobre técnicas de secado de VR y CF en Piña

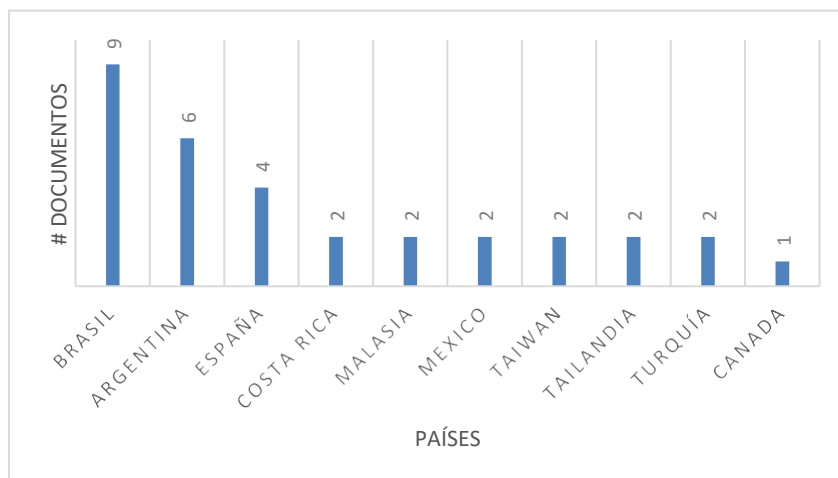
<p>Ecuación de búsqueda para artículos relacionados con las técnicas de secado de VR y CF en piña</p>	<p>(TITLE-ABS-KEY ("dry* technique" OR "dehydration technique" OR " dry* process" OR " dry* method") OR TITLE-ABS-KEY ("refractance windows drying" OR "drying hydro technique" OR " refractance windows") OR TITLE-ABS-KEY ("convective dry*" OR "hot air dry*" OR "hot-air convective" OR "hot-air convective drying technique")) AND TITLE-ABS-KEY (effect OR evaluation OR factor) AND TITLE-ABS-KEY ("pineapple" OR "ananas comosus") AND PUBYEAR > 2000</p>
---	--

Ecuación de búsqueda para artículos relacionados con las técnicas de secado de VR en piña	(TITLE-ABS-KEY ("dry* technique" OR "dehydration technique" OR " dry* process" OR " dry* method") OR TITLE-ABS-KEY ("refractance windows drying" OR "drying hydro technique" OR "refractance windows" OR "refractive window")) AND TITLE-ABS-KEY (effect OR evaluation OR factor) AND TITLE-ABS-KEY ("pineapple" OR "ananas comosus") AND PUBYEAR >2000
Ecuación de búsqueda para artículos relacionados con las técnicas de secado de CF en piña	(TITLE-ABS-KEY ("dry* technique" OR "dehydration technique" OR " dry* process" OR " dry* method") OR TITLE-ABS-KEY ("convective dry*" OR "hot air dry*" OR "hot-air convective" OR "hot-air convective drying technique")) AND TITLE-ABS-KEY (effect OR evaluation OR factor) AND TITLE-ABS-KEY ("pineapple" OR "ananas comosus") AND PUBYEAR >2000

Fuente: Propia

En la figura 31 se puede apreciar que para los documentos de convección forzada y ventana refractiva en piña destacan países latinoamericanos como Brasil con 9 documentos, Argentina 6, Costa Rica y México 2 cada uno.

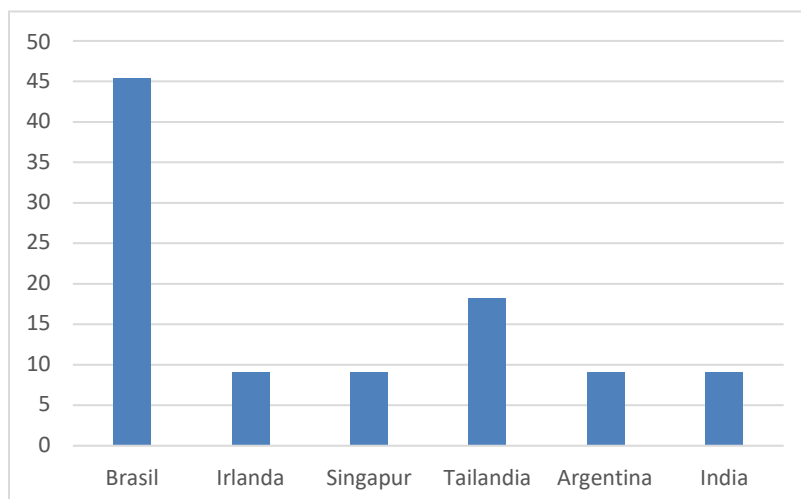
Figura 31. Top 10 países que publican artículos sobre VR y CF en piña



Fuente: Scopus

En la figura 32 se puede apreciar los porcentajes de artículos procedentes de distintos países para la revisión bibliográfica sobre convección forzada, donde destaca Brasil con un 45% de los cuales se encontró 5 artículos, para Tailandia se encontraron 2 artículos y para el resto de los países 1 en cada uno formando un total de 11, sin embargo, no se encontraron artículos de ventana refractiva en piña.

Figura 32. % de artículos procedentes de países que investigan sobre CF en piña



Fuente: Propia

A continuación, se mostrarán las ecuaciones de búsqueda sobre los artículos de secado de ventana refractiva y convección forzada aplicados en papaya.

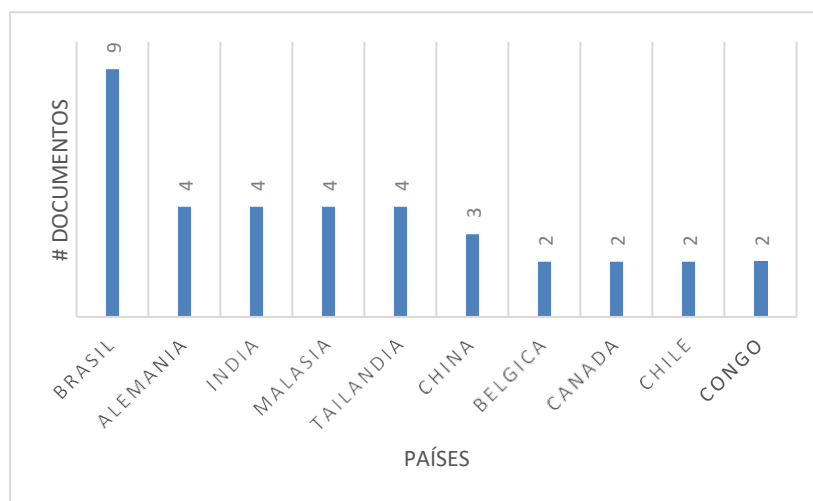
Tabla 11. Búsqueda de artículos sobre técnicas de secado de VR y CF en Papaya

Ecuación de búsqueda para artículos relacionados con las técnicas de secado de VR y CF en papaya	(TITLE-ABS-KEY ("dry* technique" OR "dehydration technique" OR " dry* process" OR " dry* method") OR TITLE-ABS-KEY ("refractance windows drying" OR "drying hydro technique" OR " refractance windows") OR TITLE-ABS-KEY ("convective dry*" OR "hot air dry*" OR "hot-air convective" OR "hot-air convective drying technique")) AND TITLE-ABS-KEY (effect OR evaluation OR factor) AND TITLE-ABS-KEY ("papaya" OR "carica papaya") AND PUBYEAR > 2000
Ecuación de búsqueda para artículos relacionados con las técnicas de secado de VR en papaya	(TITLE-ABS-KEY ("dry* technique" OR "dehydration technique" OR " dry* process" OR " dry* method") OR TITLE-ABS-KEY ("refractance windows drying" OR "drying hydro technique" OR " refractance windows")) AND TITLE-ABS-KEY (effect OR evaluation OR factor) AND TITLE-ABS-KEY ("papaya" OR "carica papaya") AND PUBYEAR > 2000
Ecuación de búsqueda para artículos relacionados con las técnicas de secado de CF en papaya	(TITLE-ABS-KEY ("dry* technique" OR "dehydration technique" OR " dry* process" OR " dry* method") OR TITLE-ABS-KEY ("convective dry*" OR "hot air dry*" OR "hot-air convective" OR "hot-air convective drying technique")) AND TITLE-ABS-KEY (effect OR evaluation OR factor) AND TITLE-ABS-KEY ("papaya" OR "carica papaya") AND PUBYEAR > 2000

Fuente: Propia

En la figura 33 se puede apreciar que los países que más destacan en investigación sobre secado de ventana refractiva y convección forzada en papaya son Brasil con 9 artículos, Alemania, India, Malasia y Tailandia con 4. Los países latinoamericanos que se encuentran en este top son Brasil como ya mencionado anteriormente con 9 artículos y Chile con 2.

Figura 33. Top 10 países que publican artículos sobre VR y CF en papaya



Fuente: Scopus.

En la figura 34a se observa el porcentaje de artículos que proceden de países que investigan sobre secado de ventana refractiva en papaya, donde 3 provienen de Colombia y representan el 75% y el 25% el cual es 1 artículo proviene de Brasil.

En la figura 34b se observa el porcentaje de países que investigan sobre secado de convección forzada en papaya, se puede apreciar que hay mayor variedad de países respecto a los que investigan sobre secado por ventana refractiva. De los artículos encontrados se evidencia que en Brasil, Alemania y Chile están el 22,22% con 2 artículos encontrados de cada país, y de India, México y Cuba están el 11,11% con 1 artículo encontrado en cada país.

Figura 34. % de artículos en países que investigan sobre CF y VR en papaya

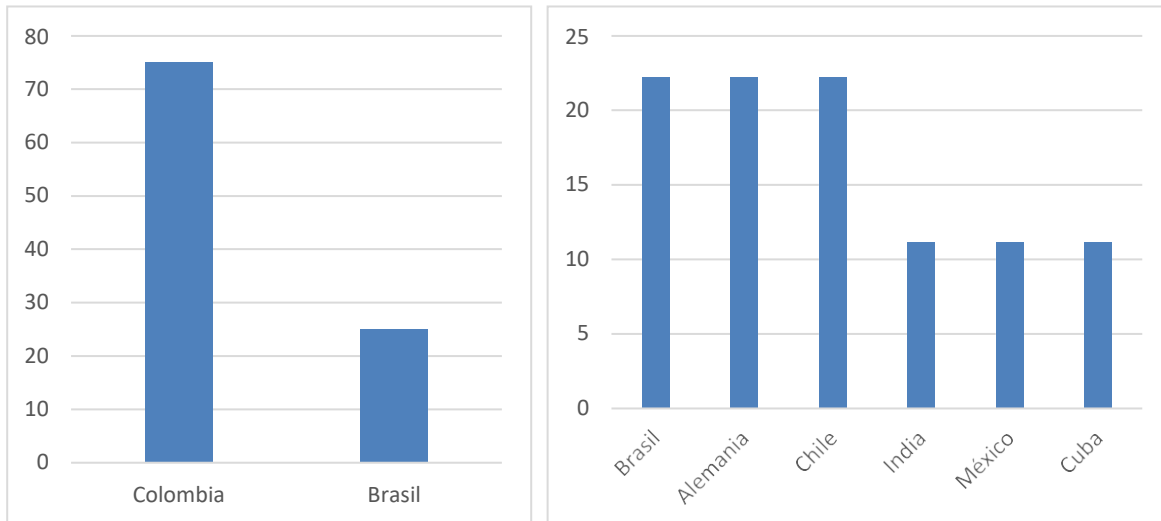


Figura 34a. Porcentaje de artículos procedentes de países que investigan sobre VR en papaya

Figura 34b. Porcentaje de artículos procedentes de países que investigan sobre CF en papaya

Fuente: Propia.

A continuación, en la tabla 12, se mostrarán las ecuaciones de búsqueda sobre los artículos de secado de ventana refractiva y convección forzada aplicados en guayaba.

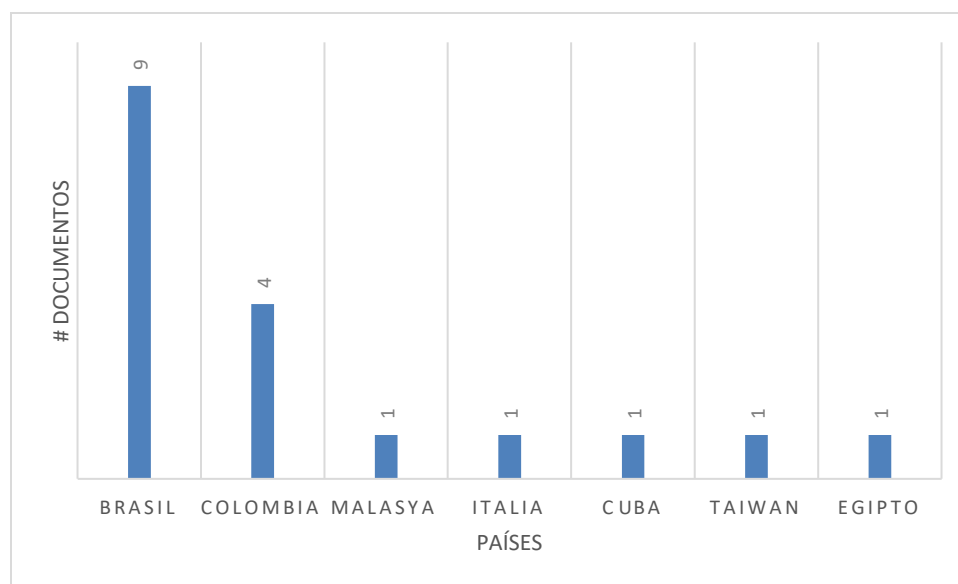
Tabla 12. Búsqueda de artículos sobre técnicas de secado de VR y CF en Guayaba

Ecuación de búsqueda para artículos relacionados con las técnicas de secado de VR y CF en guayaba	(TITLE-ABS-KEY ("dry* technique" OR "dehydration technique" OR " dry* process" OR " dry* method") OR TITLE-ABS-KEY ("refractance windows drying" OR "drying hydro technique" OR " refractance windows") OR TITLE-ABS-KEY ("convective dry*" OR "hot air dry*" OR "hot-air convective" OR "hot-air convective drying technique")) AND TITLE-ABS-KEY (effect OR evaluation OR factor) AND TITLE-ABS-KEY ("guayaba" OR "psidium guajava") AND PUBYEAR > 2000
Ecuación de búsqueda para artículos relacionados con las técnicas de secado de VR en guayaba	(TITLE-ABS-KEY ("dry* technique" OR "dehydration technique" OR " dry* process" OR " dry* method") OR TITLE-ABS-KEY ("refractance windows drying" OR "drying hydro technique" OR " refractance windows" OR "refractive window")) AND TITLE-ABS-KEY (effect OR evaluation OR factor) AND TITLE-ABS-KEY ("guayaba" OR "psidium guajava") AND PUBYEAR > 2000
Ecuación de búsqueda para artículos relacionados con las técnicas de secado de CF en guayaba	(TITLE-ABS-KEY ("dry* technique" OR "dehydration technique" OR " dry* process" OR " dry* method") OR TITLE-ABS-KEY ("convective dry*" OR "hot air dry*" OR "hot-air convective" OR "hot-air convective drying technique")) AND TITLE-ABS-KEY (effect OR evaluation OR factor) AND TITLE-ABS-KEY ("guayaba" OR "psidium guajava") AND PUBYEAR > 2000

Fuente: Propia

En la figura 35 se observa que Brasil es el país que más destaca en publicaciones sobre convección forzada y ventana refractiva en guayaba con 9 documentos, le siguen países como Colombia, Egipto, Taiwan, Cuba e Italia con 1 publicación cada uno.

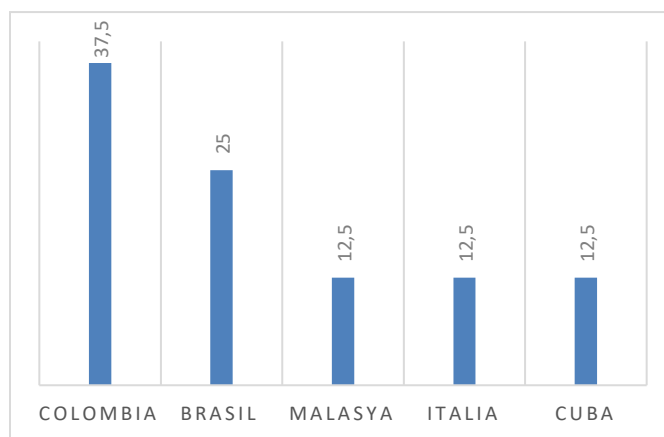
Figura 35. Top de países que publican artículos sobre VR y CF en guayaba



Fuente: Scopus.

En la figura 36 se observan los artículos procedentes de distintos países para convección forzada donde destaca Colombia con el 37,5% los cuales son 4 artículos, luego sigue Brasil con el 25% los cuales son 2, luego Malasya, Italia y Cuba con el 12,5% cada uno el cual significa 1 artículo.

Figura 36. % de artículos en países que investigan sobre CF en guayaba.



Fuente: Propia

De acuerdo con lo observado en tablas y gráficas anteriores se puede analizar que entre 2000 y 2017 muchos de los países que tienen mayores investigaciones sobre técnicas de secado son aquellos conocidos como potencias mundiales en tecnología como por ejemplo Estados Unidos, China, Alemania, Corea del Sur y Japón. (D. Blinder, 2016). También se puede apreciar que entre los países que destacan en búsquedas de información sobre secado de VR son Estados Unidos y Colombia, sin embargo, ninguno sobrepasa los 16 artículos entre 2000 y 2017, mientras que para el secado de CF países como China donde se han hecho más investigaciones con 450 artículos publicados, con India y Brasil por encima de 150 artículos entre el mismo rango de tiempo. Para el secado de las frutas seleccionadas los países como Estados Unidos, Brasil, Tailandia, India, Colombia, entre otros destacaban en investigación sobre ventana refractiva; para convección forzada están igualmente países como Brasil, Colombia e India, pero también Alemania, Malasya, Taiwan y Argentina; Esto puede ser porque muchos de estos países se encuentran en la zona tropical del planeta y estas frutas son más propensas a crecer en estas zonas por la variedad de climas, o son países importadores, y por tanto estos buscan alternativas de desarrollo y aprovechamiento de estos frutos como materia prima o productos (Vargas Ulate, 2002).

3.1.2 Factores críticos de secado

En la tabla 13 se pueden apreciar en síntesis las condiciones de secado de ventana refractiva y convección forzada para las frutas como el mango, piña, papaya y guayaba. Los factores más influyentes sobre las características propias de las frutas según los autores son el estado de la fruta, el espesor, la temperatura y el tiempo de secado. En el Anexo 1 se puede observar el total de los hallazgos de la revisión sistemática de la literatura.

Tabla 13. Factores críticos de secado

	VR	Ref	CF	Ref
Mango	Estado: Pulpa - Espesor: 3 mm - T° 90°C - Tiempo: 120 min	(Zotarelli, Carciofi, & Laurindo, 2015) (Caparino, Nindo, Tang, & Sablani, 2017)	Estado: Fruta cortada - Espesor: 5 mm - T°: 70°C - Tiempo: 360 min	(Nieto, Castro, & Alzamora, 2001) (Lobo et al., 2017)
Piña	**	**	Estado: Fruta cortada - Espesor: 10 mm - T°: 60°C - Tiempo: 480 min	(Rodríguez, Gomes, Rodrigues, & Fernandes, 2017) (Ponkham, Meeso, Soponronnarit, & Siriamornpun, 2012)
Papaya	Estado: Pulpa - Espesor: 2 mm - T°: 90°C- Tiempo: 90 min	(Ocoro & Ayala, 2012) (Martinez H, 2011)	Estado: Fruta cortada -Espesor: 20 mm - T°C: 70°C - Tiempo: 800 min	(Rodríguez-ramirez, Ramirez-lavariaga, Lilia, & Sosa, 2016) (Kurozawa, Terng, Hubinger, & Park, 2014) (Udomkun, Argyropoulos, Nagle, Mahayothee, & Müller, 2015)
Guayaba	Estado: Pulpa - Espesor: 3 mm - T°: 90°C - Tiempo: 120 min	(Y. Leiton, 2012)	Estado: Fruta cortada - Espesor: 5 mm - T°: 70°C - Tiempo: 540 min	(Serpa A. Castrillón D., 2013) (Ordóñez-Santos, Portilla, & Rodríguez, 2013) (Vásquez D, Hincapié G, 2012)

****:** No reporta

Fuente: Propia

Se observa que los resultados para tratamiento entre las frutas no difieren mucho entre sí, sin embargo, sí lo hacen entre tratamientos donde cambia el espesor, el tiempo de secado y la temperatura de trabajo.

3.1.3 Análisis de artículos consultados

De acuerdo con lo revisado entre los artículos bibliográficos se buscaba evidenciar las características de técnicas de secado de ventana refractiva y convección forzada en frutas tropicales. Para la ventana refractiva la materia prima usualmente se encuentra en estado líquido (pulpa) dado que esta técnica ha demostrado gran utilidad para obtener láminas de fruta, que posteriormente pueden ser procesadas para obtener frutas en polvo y funciona como alternativa de uso a la liofilización y con resultados de calidad comparables (Nindo, Powers, & Tang, 2007). Para la técnica de convección forzada por lo general se trabaja con fruta en rodajas para deshidratar, así se demuestra la diferencia del uso de técnicas de deshidratación para obtener distintos tipos de productos, ya sea para extraer compuestos o elaborar materia prima para posteriores procesos.

Para ambas técnicas de secado se consideraron factores variables como estado de la muestra (pulpa, tajado o molido) espesor, temperatura de trabajo, velocidad del aire (para convección forzada) y tiempo de proceso hasta la humedad final; estos factores son los que influenciaban en las características de las muestras, las cuales se toman como criterios que muestran la diferencia entre las técnicas; entre las variables de respuesta más representativas a las cuales se hizo la revisión están: Color, Nutrientes (Vitaminas, minerales), otros compuestos (fenoles, aromáticos, antioxidantes, carotenoides), humedad y °Brix. Esas variables se pueden observar en el Anexo 2.

A continuación, se realizará un análisis de las respectivas técnicas de secado para cada una de las frutas seleccionadas:

- **Mango:**

Se reportó que por lo general para ventana refractiva se trabajaba con pulpa del mango, cuyo espesor oscilaba entre los 0,7 mm espesor dado por Caparino et al., (2012) y 3 mm dado por Zotarelli et al., (2015), Ochoa-Martínez et al., (2012) presentó su trabajo de secado de mango por ventana refractiva no como pulpa sino como fruta en rodaja, cuyo espesor fue de 1 mm. Los procesos de secado se desarrollaron con un rango de temperaturas que oscila entre (90°C y 97°C). El tiempo de secado dependía directamente del espesor y de la temperatura, cuanto menor era el espesor y cuánto mayor era la temperatura tardaba menos tiempo en reducir su porcentaje de humedad, como lo reporta Zotarelli (2015) para secar mango con 2 mm de espesor a 95°C hasta una humedad del 12% el proceso tardó 120 minutos para llevarlo a un 12%, mientras que Caparino (2012) reportó que para secar mango con espesor entre (0,5 mm y 0,7 mm) tardó 3 minutos en llevarlo a 1,7% de humedad, ninguna de las muestras había tenido un pretratamiento previo. Las variables de respuesta para mango en ventana refractiva expresaron que conservaban mejor el color respecto a la técnica de convección forzada de acuerdo con Ochoa-Martínez (2012), en

comparación a otras técnicas como liofilización y atomización no habían diferencias significativas, mientras que para el secado de tambores sí se presentaron diferencias ($p < 0,05$) Caparino et al., (2012). Para mango entre los artículos revisados no se reportaron análisis de nutrientes antes y después de la técnica de secado, pero para otros componentes como los carotenos Zotarelli (2017) demostró que después del proceso de secado no hubo reducción significativa entre las muestras evaluadas a distintas variables.

Para convección forzada se usan con frecuencia frutos e incluso cáscaras y semillas de mango cortadas, se observan mayores tiempos de secado y se encuentran espesores de 3 mm y tiempos de secado con rangos entre 90 minutos y 360 minutos, los cuales varían de acuerdo con la temperatura de trabajo. Las temperaturas encontradas están entre 60°C y 80°C, siendo las más frecuentes los 70°C ya que es la temperatura que conserva mejores resultados en características de color y algunos componentes importantes que se quieren conservar durante el secado (Corzo, Bracho, & Alvarez, 2008). En esta técnica se mostraron resultados de disminución de carotenoides por parte de Chen, Tai, & Chen, (2007), fenoles por Lobo, (2017) y pardeamiento reportado por Izli, Izli, & Taskin, (2017) si se trabajaba a temperaturas superiores a 70°C. Para el secado y aprovechamiento de semillas y cáscara de mango se comprobó su contenido de antioxidantes y fenoles donde se observó una reducción de estos componentes en ambos casos, sin embargo, se comprobó que es más eficiente secar la cáscara que la semilla, puesto que la cáscara tardaba menos tiempo en reducir su nivel de humedad (Sogi, Siddiq, & Dolan, 2015) (Dorta, Lobo, & González, 2012). Respecto a la velocidad del aire con que se trabajó, la mayoría de los autores utilizó una velocidad de 1 m/s, aunque este es un factor que influencia en el secado de las frutas, la temperatura es el factor que más afecta el tiempo de secado y el producto respecto a la velocidad del aire (Espinosa & Angelica M, 2015).

- **Piña:**

Para este fruto aún no se han reportado novedades, trabajos o informes con la técnica de secado de ventana refractiva, no obstante, sí se han reportado investigaciones con la técnica de secado con convección forzada. Todos los autores revisados trabajaron la fruta cortada con espesores entre 3 mm y 11 mm, donde por lo general predominan los 10 mm, el cual es un espesor mayor reportado respecto al mango. Los rangos de temperatura usados fueron entre 40°C y 80°C donde los autores trabajaron más comúnmente a 60°C. Esta temperatura es la recomendada para el secado de esta fruta porque mantiene algunos de sus componentes propios; por ejemplo De Lima (2016) demostró que a 60°C no se presentaron cambios significativos en la composición de piñas fortificadas con calcio, mientras que Rodríguez, Gomes, Rodrigues, & Fernandes, (2017) sí reportó que a la misma temperatura las vitaminas del complejo B y la vitamina C se redujeron, a pesar de

que éstas estuvieron menos tiempo expuestas al secado que la muestra con calcio de De Lima (2016) esto puede ser por la termo sensibilidad que presenta cada micronutriente lo que explica su facilidad en su desnaturalización; analizando el factor de respuesta del color Tan, Chua, Mujumdar, & Chou (2001) observó que no hubo diferencias significativas entre su muestra y la muestra en seco donde trabajó a 75°C durante 420 minutos.

- **Papaya:**

La papaya es un fruto con alto contenido de agua respecto a los otros ya analizados y por tanto se han reportado investigaciones para la técnica de secado de ventana refractiva donde se emplean temperaturas por lo general superiores a 90°C hasta 98°C, con la excepción de Ocoró Zamora & Ayala-Aponte (2014) que trabajaron con una temperatura de 70°C con 3 mm de pulpa de fruta donde tardó 180 minutos en llegar a una humedad del producto del 11%; con las temperaturas superiores a 90°C se toma como evidencia que la temperatura es inversamente proporcional al tiempo de secado debido a que entre mayor era esta era menor el tiempo, Ocoro & Ayala (2012) trabajó a 90°C y tardó 90 minutos, Martínez H (2011) trabajó con 95°C y demoró 50 minutos, mientras que De Souza S (2017) trabajó a 98°C y demoró 10 minutos, los tres autores trabajaron con pulpa con 2 mm de espesor, y debido al tiempo de exposición y la temperatura de trabajo cada uno llegó a humedades distintas del producto por debajo del 14%. Los autores De Souza S, (2017) y Ocoró Zamora & Ayala-Aponte (2014), los cuales trabajaron con temperaturas de 98°C y 70°C respectivamente no reportaron diferencias significativas en el color de las muestras.

En el secado de convección forzada en papaya los autores emplearon el fruto cortado, algunos usaron espesores bajos como 1 mm Syed Mazar A. (2015) y 2 mm como usó Udomkun, Nagle (2015) y Lemus-Mondaca (2009); Udomkun, Argyropoulos, Nagle, Mahayothee, & Müller, (2015) y Kurozawa, Terng, Hubinger, & Park, (2014) usaron espesores mayores y el fruto cortado de forma cúbica de 20 mm de lado. Se usaron velocidades del aire entre 0,5 m/s y 2 m/s, entre las cuales la mayoría optó por emplear velocidades del aire iguales o cercanas a 1 m/s, para el color Syed Mazar A. (2015) el cual trabajó con pulpa con 1 mm de espesor y Rodríguez-ramirez, Ramirez-lavariega, Lilia, & Sosa (2016) que trabajó con fruta cortada con 20 mm comprobaron que existe diferencia significativa de este factor puesto que en ambos casos se presentó pardeamiento, esto puede ser debido a que sus tiempos de secado superaron los 300 minutos. Udomkun, Argyropoulos, Nagle, Mahayothee, & Müller (2015) demostró que para papayas fortificadas con calcio no existió disminución significativa en su contenido después del procedimiento, para el ácido ascórbico Lemus-Mondaca (2009), Kurozawa, Terng, Hubinger, & Park (2014) y Syed Mazar A. (2015) confirmaron reducción de este componente, cada uno

realizó su proceso a temperaturas de 60, 70 y 80°C respectivamente entre 360 y 800 minutos, para estos mismos autores se evidenció reducción significativa para betacaroteno y vitamina C. Oliveira A, Mendoza S, (2014) realizó su investigación secando semillas de papaya con mucílago, donde las secó a 60°C hasta obtener una humedad de 7% durante 20 horas.

- **Guayaba:**

Para el proceso de secado de ventana refractiva en guayaba se usó pulpa y se agregó hasta el punto de tener 3 mm de espesor y se secó a 90°C durante 120 minutos hasta obtener 4,5% de humedad. (Y. Leiton, 2012) mostró que existe pardeamiento del fruto después del procedimiento, además de reducción de Vitamina C entre 86% y 68%, sin embargo, no hay reducción significativa de los carotenos.

En convección forzada se utilizó fruto cortado de guayaba con espesores entre 0,5 mm y 9 mm donde predominaban investigaciones con 5 mm de espesor. El proceso de secado se realizó con temperaturas sobre los 40°C hasta los 75°C y predominó en la mayoría de las investigaciones el secado a 70°C, de igual forma fue más frecuente la velocidad del aire a 1 m/s. De Castro (2016) mencionó en su artículo que la guayaba a 60°C durante 240 minutos no presentó cambios significativos en el color. Para retención de vitamina C Serpa A. Castrillón D. (2013) comprobó que a 40°C la vitamina C se reducía significativamente, esto puede ser debido a que estuvo expuesta al secado durante 1440 minutos, Sanjinez-Argandoña, E. J (2005) manejó una mayor temperatura (60°C) durante 240 minutos, y obtuvo una retención de carotenoides entre 66 - 70% y ácido ascórbico 20 - 35%; y Ordóñez-Santos, Portilla, & Rodríguez, (2013) trabajaron con temperaturas variables superiores a 75°C, donde a esta temperatura obtuvo reducción significativa de vitamina C respecto a las muestras frescas, pero es la que mejor retención tuvo comparándolas con las muestras que fueron secadas a temperaturas mayores. Siow & Hui, (2013) quién trabajó a 40°C durante 540 minutos no evidenció diferencia significativa de reducción de antioxidantes y fenoles, mientras que Vásquez D, Hincapié G, (2012) tampoco reportó reducción significativa de fibra dietaria al realizar el procedimiento a 70°C durante 960 minutos. Para los °Brix en convección forzada para guayaba Ordóñez-Santos, Portilla, & Rodríguez, (2013) obtuvo un valor final de 6,3°Brix, por otro lado, de Castro et al., (2016) quién hizo pretratamiento osmótico a sus muestras obtuvo un valor final de 48°Brix.

Sintetizando los resultados que los autores dieron para las técnicas de secado por ventana refractiva y convección forzada para mango, se escogió experimentar con mango ya que es una fruta con alto interés comercial, además de la fácil disponibilidad de obtención en la ciudad de Medellín. Se tienen en cuenta que para ventana refractiva la mayoría de los investigadores recomiendan usar temperaturas superiores o iguales a los 90°C y preferiblemente trabajar con la pulpa de la fruta

para obtener mejores resultados, y con espesores inferiores a 3 mm si se quiere llevar a una humedad constante del producto en 120 minutos. Para convección forzada los autores investigaron con espesores mayores a los utilizados para convección forzada, pero los más frecuentes fueron de 3 y 5 mm, además de los más recomendados porque es evidente que entre menor sea el espesor habrá una velocidad de secado mayor, aunque ese criterio también depende de la temperatura de la cual se utilizaban temperaturas entre 60°C hasta 80°C, sin embargo, entre las más utilizadas eran entre 65°C y 70°C, debido a que al usar temperaturas superiores se perdían ciertas características del fruto que afectaban el producto final.

- **Revisión ventana refractiva aplicada en otros alimentos:**

Realizando una revisión a la dinámica de las técnicas de secado en otras frutas, se observa que la temperatura de trabajo se amplía a un rango desde 70°C dada por Sousa da Costa R., (2015) el cual secó Tucupí hasta 95°C temperatura dada por Nindo & Powers, (2007) quienes secaron espárragos, calabaza y arándanos; se observa que cuales no varían mucho en los vistos en las frutas estudiadas. Para el Aloe Mejia Terán, (2011), el jalapeño Topuz, Dincer, Özdemir, Feng, & Kushad, (2011), fresa, zanahoria Abonyi et al., (2002), papas Nayak, Berrios, Powers, Tang, & Ji, (2011), kiwi Jafari, Azizi, Mirzaei, & Dehnad, (2016), zapallo M. J. Ortiz, (2014) y rocotó Noriega M, Arteaga H., (2015) los autores utilizaron fruta tajada y no en pulpa como usualmente se hace para extraer polvos y concentrados, Pavan, Schmidt, & Feng, (2012) secó arándanos como fruto entero y no como pulpa como sería lo recomendable ya que al ser un fruto pequeño no tendría mucha utilidad preparar muestra en rodajas. Li Sedano, H. Quispe, R. Guzman, & Salvador, (2012) demostró que la técnica de ventana refractiva no se limita solo a deshidratar frutas, sino que también pasta de carachama la cual es un tipo de carne de pescado la cual se secó para obtener un concentrado para alimentar animales. Para ventana refractiva los autores trabajaron con espesores entre 1 y 5 mm de la muestra estaba en rodajas y con tiempos de secado entre 60 y 360 minutos; para las muestras en pulpa o pasta los espesores variaban de 0,5 a 3 mm y sus tiempos de secado variaban de 15 hasta 180 minutos demostrando que a pesar de que se usen espesores menores en pulpa e independientemente del tipo de muestra, el tiempo de secado es influenciado por el estado en que se encuentra. Para los criterios de respuesta como el color Abonyi (2002) comprobó que para la fresa hubo diferencia significativa en el color después del secado por oscurecimiento, pero para la zanahoria cortada en rodajas no hubo esa diferencia, igualmente para la zanahoria secada por Hernández-Santos (2016) el cual demostró que no había diferencia significativa en el color a pesar de que trabajó con la zanahoria en pulpa, ambos autores realizaron el secado a 95° y 94°C respectivamente. Para el color del tucupí, el cual es una pulpa amarillenta extraída de la raíz de mandioca Sousa da Costa R., (2015) y Costa dos Santos (2014) expresaron que tanto para 0,5 mm como 2 mm los cuales son espesores con los que

secaron el tucupí respectivamente no presentan cambios en coloración, ambos autores propusieron una temperatura de secado de 70°C el cual tardó 45 minutos en llegar a una humedad del 2,5% para el espesor de 0,5 mm y para el espesor de 2 mm tardó 50 minutos a una humedad aproximada del 10%, estos tiempos de secado son similares y su variación de resultados en tiempo y humedad es debida a la diferencia de espesor; para la lúcuma en pulpa de Gamboa, Ibáñez, Meléndez, Paredes, & Siche, (2014) y el rocoto tajado de Noriega M, Arteaga H. (2015) ambos autores reportaron una temperatura de trabajo de 95°C, para la lúcuma cuya pulpa tenía un espesor de 1,3 mm tardó 15 minutos en llegar a una humedad de 9,8%, para el rocoto el cuál era una muestra sólida en rodajas de 4 mm tardó 390 minutos en llegar a un 10% de humedad y a pesar de la diferencia en tiempos de exposición los autores no reportaron cambios en color respecto a sus presentaciones en fresco.

En ventana refractiva para la vitamina C o ácido ascórbico evaluada por Mejia Terán (2011), en aloe evaluado por Nindo, Powers, & Tang (2007) se reportaron reducción significativa de esta vitamina; no obstante, Abonyi (2002) en fresa y zanahoria reportó un 94% de retención de vitamina C y Nindo, Sun, Wang, Tang, & Powers, (2003) reportó que en espárragos no hubo reducción significativa, los autores realizaron sus experimentaciones con temperaturas mayores a 80°C y tiempos de exposición superiores a 80 minutos, sin embargo, la diferencia entre aquellos productos que sí retuvieron más ácido ascórbico de los que no radica en el estado de la muestra puesto que los que sí tuvieron reducción significativa fueron secados en pulpa, eso se debe a que la vitamina al ser soluble en agua puede perderse en el proceso de lavado de la fruta para preparar la muestra (Márkus, Daood, Kapitány, & Biacs, 1999) y se ha reportado una pérdida de vitamina también en el proceso de centrifugación, ya que la fruta se licúa para obtener la pulpa para secar, por eso es importante analizar cada proceso (Ramesh, Wolf, Tevini, & Jung, 2001).

- **Revisión convección forzada aplicada a otros alimentos:**

En convección forzada se realizaron experimentaciones con más frecuencia con el fruto cortado, los autores trabajaron también con pulpas, además para frutos como arándanos, ginseng, acaí, pistachos, hojas de algunos árboles o semillas de algunos frutos se utilizaron enteros sin procesar ni cortar ya que no era muy necesario al ser objetos pequeños por lo general; para cada uno se manejaban distintos rangos de temperatura. Para pulpa se secó desde 60°C hasta 70°C, en estado líquido para CF hubo menos investigaciones encontradas, por ejemplo, C. M. Ortiz, de Moraes, Vicente, Laurindo, & Mauri (2017) secaron soya, Yılmaz, Yükkaya, Vardin, & Karaaslan, (2017) secaron pestilos de granada y Forero, Orrego, Peterson, & Osorio, (2015) secó lulo; los espesores de la muestra eran 1 mm el cuál se secó en 90 minutos para los pestilos de granada y 2 mm el cuál demoró 480 minutos para el lulo y 720

minutos para la soya, esta diferencia puede deberse al contenido de humedad de las muestras ya que son distintas.

Para las muestras dispuestas a secar como fruto entero se utilizaron temperaturas desde 50°C hasta 90°C siendo la temperatura más frecuente 70°C, las temperaturas más altas se usaron para secar arándanos secados por Zielinska & Michalska, (2016) los cuales contaban con 2 mm de espesor aproximado y tardaron 120 minutos en llegar a una humedad de 2,3% se utilizó además una velocidad del aire de 2 m/s; en cambio se usaron las temperaturas más bajas para secar hojas de mora por parte de Tao et al (2016), Ashtiani, Salarikia, & Golzarian, (2017) secó hojas de menta y Saavedra (2017) cáscaras de aguacate. Para las hojas se reportaron espesores aproximados de 0,25 mm, para las cáscaras de aguacate fueron 2 mm, la velocidad del aire utilizada fue entre 1 m/s y 2,5 m/s, sin embargo, se comprobó que este factor no tenía mayor influencia sobre el secado.

Para las muestras de fruta cortada se observaron temperaturas de trabajo desde 40°C hasta 80°C de las cuales la más repetitiva era de 70°C, el secado a 40°C se realizaba para frutas como manzana secada por Cortés M, Chiralt A. (2008), pequi secado por De Mendonça (2017) y banano secado por Chua, Mujumdar, Chou, Hawlader, & Ho, (2000) con espesores entre 1 y 5 mm los cuales dependiendo del espesor variaban entre 240 minutos y 1440 minutos en secarse; mientras que a 70°C Vega, Sturm, & Hofacker, (2016) y Seiedlou, Ghasemzadeh, Hamdami, Talati, & Moghaddam, (2010) secaron manzana, Seremet, Botez, Nistor, Andronoiu, & Mocanu, (2015) y Perez N, Schmalko M, (2008) secaron calabaza, Guiné, Gonçalves, Calado, & Correia (2016) secaron zanahoria, Tan, Chua, Mujumdar, & Chou, (2001) secaron papa, Nicoletti, Jr., Telis-Romero, & Telis, (2007) secó caquis y Yan, Sousa-Gallagher, & Oliveira, (2008) secó banano con espesores de 5 mm excepto para la calabaza de Perez, (2008) que fue cortada con 25 mm de espesor.

Respecto a los criterios en las muestras secadas como pulpa Yılmaz, Yüksekaya, Vardin, & Karaaslan, (2017) reportó que para los pestilos de granada hubo disminución significativa de antioxidantes y para lulo Forero, Orrego, Peterson, & Osorio, (2015) reportó que hay reducción significativa de los compuestos aromáticos, para muestras con pulpa no se analizaron criterios como color o vitaminas; en los frutos secados en forma pura Zielinska & Michalska, (2016) comprobó que a las condiciones de secado de 90°C para arándanos su color se modificaba y se reducía el contenido de polifenoles y antioxidantes, en el caso del ginseng secado por Ning, Lee, & Han, (2015) se comprobó que el contenido de las saponinas se reducía si se secaba a una T° de 60°C durante 1440 minutos y para las hojas de mora Tao et al., (2016) comprobó que su aroma característico se veía reducido después de 120 minutos de proceso a 60°C; para los frutos cortados como el pimiento verde Łechtańska, Szadzińska, & Kowalski, (2015) concluyó que después

de 1140 minutos a 65°C se lograba una disminución significativa de su color respecto al fresco, por otra parte Lüle & Koyuncu, (2015) quienes trabajaron con serbal concluyeron que el color de este se mantenía después de 1320 minutos a 50°C, para el banano Chua, Mujumdar, Chou, Hawlader, & Ho, (2000) obtuvieron que a 300 minutos de secado a 40°C lograba un cambio en su coloración, para el ají J. Álvaro et al., (2016) lo secó a 50°C durante 105 minutos y también logró un cambio en su coloración, en la calabaza la cual Perez N, Schmalko M, (2008) secó a 70°C durante 120 minutos hubo diferencia significativa puesto que su coloración se tornó más parda y presentaba color menos amarillo y respecto a la manzana estudiada por Cortés M, Chiralt A. (2008) hubo pardamiento al exponerla a 40°C durante 240 minutos, aquí se evidencia que el factor del color es muy sensible ya que este depende de los azúcares simples o pardeamientos enzimáticos al exponerlos al aire al cortar la fruta, incluso cambios de coloración que ocurren a exposiciones cortas de tiempo a bajas temperaturas, cabe mencionar que este factor depende principalmente de la naturaleza de la fruta; respecto a vitaminas y otros componentes se tuvo que para el jengibre investigado por An K, D. Zhao, Z. Wang, (2015) hubo disminución significativa de gingeroles respecto al fresco al dejarlo a 60°C durante 720 minutos, para la vitamina C que evaluó Nicoletti, Jr., Telis-Romero, & Telis, (2007) en el caquis y evaluada por Lechtańska, Szadzińska, & Kowalski, (2015) para el pimiento verde existió una reducción significativa de la vitamina, se trabajó a 65°C y 70°C respectivamente y expuestas desde 420 minutos, para la vitamina E en manzana se comprobó la disminución significativa y para el tomate Azeez, Adebisi, Oyedeji, Adetoro, & Tijani, (2017) concluyó que al secar durante 250 minutos a 60°C logra una reducción del contenido de licopeno y betacaroteno.

3.2 RESULTADOS DEL ANALISIS FISICOQUIMICO

3.2.1 Análisis bromatológico

En la Tabla 14 se exponen los componentes del análisis fisicoquímico que se realizó al mango fresco. Se observa que los resultados establecidos son similares a los reportados por Corrales-Bernal, et al, (2014) y Carlos Correa, (2013) donde la humedad es de 79,3 y 81%, las proteínas 0% y 0,5%, los carbohidratos 20,3 y 16,2% respectivamente.

Tabla 14. Composición bromatológica del mango fresco

Análisis bromatológico	Referencias consultadas		Mango fresco
	(Corrales-Bernal, 2014)	(Correa, 2013)	(Rosero, 2017)
%Humedad	79,3	81	87,06
%Acidez	0,2	0,3	0,98
%Proteína	0	0,5	0,73
%Ceniza	0,4	0,5	0,59
%Grasa total	0,02	0,2	1,45
%Carbohidratos	20,3	16,2	10,17
Calorías (Kcal/100g)	81,5	75,3	56,67

Los análisis bromatológicos expresados en la tabla anterior demuestran que el mango tiene un alto contenido de carbohidratos, además su porcentaje de acidez está expresado en ácido cítrico. (Corrales-Bernal et al., 2014).

3.2.2 Balance de materia

A continuación, se presenta el balance de materia de la experimentación realizada con mango para determinar el rendimiento de la pulpa y la especificación de los factores de secado a los que se sometieron.

Tabla 15. Balance de materia en la experimentación realizada con mango

DESCRIPCIÓN	PESO (G)
FRUTA	3.540,04
PULPA	2.243,93
CÁSCARA Y SEMILLAS	1.149,56
PESO JUGO	1.475,79
FIBRA	768,14

$$\%Rendimiento = \frac{\text{peso jugo}}{\text{peso fruta}} * 100$$

$$\%Rendimiento = \frac{1.475,79 \text{ gr}}{3.540,04 \text{ gr}} * 100$$

$$\%Rendimiento = 41,69\%$$

Se observa un rendimiento del jugo de la fruta por debajo del 50%, esto puede deberse a que gran parte del peso depende del hueso de la fruta y las cáscaras. Comparando con una referencia se obtuvo mayor porcentaje de rendimiento ya que la fuente de comparación obtuvo un 35% (Falquez & González, 2010)

La cantidad de jugo obtenida fue la necesaria para disponer las muestras de modo que obtenga 3 mm de espesor en los moldes, por cada muestra para alcanzar los 3 mm era necesario agregar aproximadamente 35 g de pulpa. Para el secado de ventana refractiva se ajustó la T° a 90°C y para convección forzada a 70°C, se tomaron en cuenta estas temperaturas de acuerdo con lo encontrado en los artículos revisados.

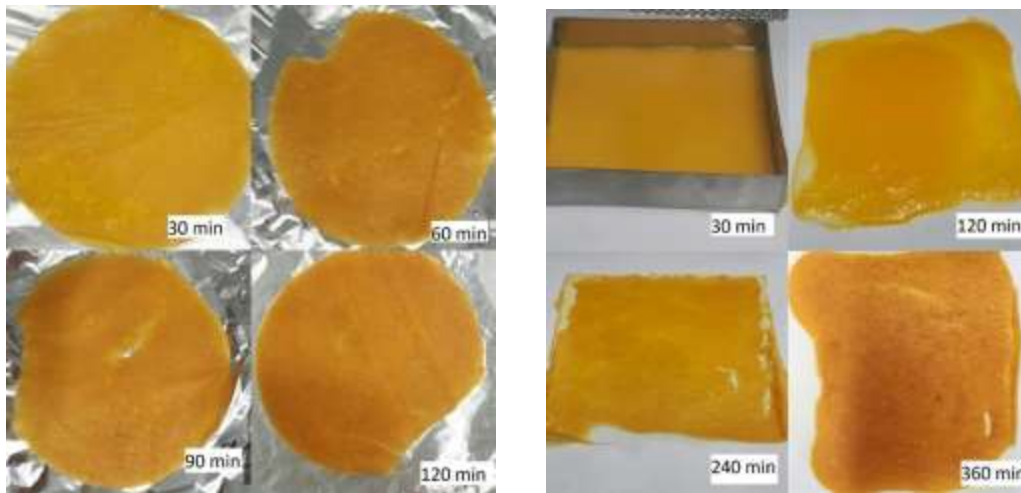
3.2.3 Análisis de color

Durante 120 minutos, cada 30 minutos se realizó una lectura de los valores L, a y b de las pulpas de mango en su proceso de secado tanto para ventana refractiva como para convección forzada.

A la izquierda de la figura 37 se observa el cambio del color de la pulpa de mango al ser sometida al secado por ventana refractiva (VR) a 90°C. Por otro lado, a la derecha de la figura 37 se puede apreciar el cambio de color de la pulpa de mango

secada por convección forzada (CF) a 70°C. Visualmente para el caso de VR el cambio más sobresaliente se presentó en los primeros 60 minutos de proceso; mientras que para el caso de CF el cambio se presentó a los 240 minutos. Ver figura 37.

Figura 37. Color cualitativo de la muestra de mango en los procesos de VR y CF

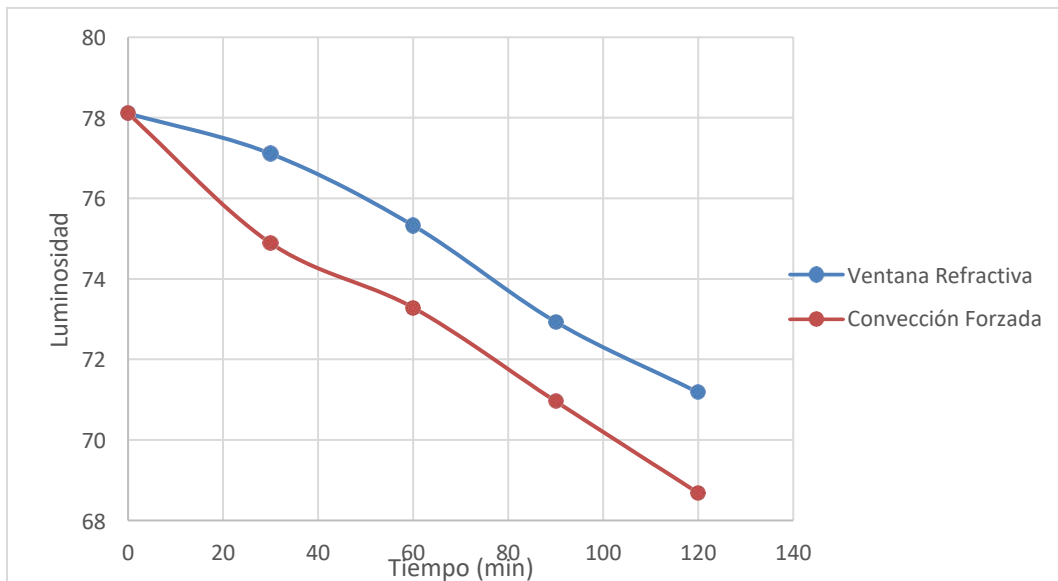


Diferencias entre VR (Izquierda) y CF (Derecha)

Fuente: Propia.

En el Figura 38 se observa la tendencia de la luminosidad (L^*) de la pulpa de mango cada 30 min. Tanto para el secado por VR y CF se puede apreciar una disminución en el brillo de la pulpa, el cual es directamente proporcional al tiempo de secado. La disminución de esta característica de luminosidad se puede atribuir principalmente a la exposición de calor de los sólidos solubles de la pulpa lo cual hace que se desarrolle lo que se conoce como reacción de Maillard la cual consiste en pardeamiento no enzimático y ocasiona cambios en olor, color y sabor de los alimentos (Rodríguez J, 2015). De acuerdo con la información reportada por el programa estadístico Statgraphics los datos de luminosidad del mango seco no tienen diferencia significativa entre las técnicas de secado. Ver figura 38.

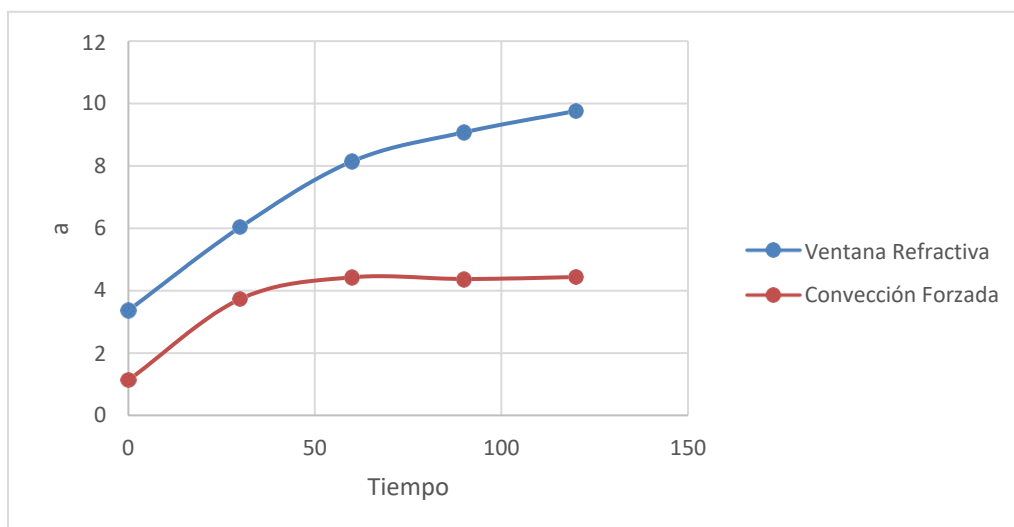
Figura 38. Valores de las coordenadas del color L* en pulpa de mango



Fuente: Propia

En la figura 39, se observa que los valores obtenidos para la coordenada de color en a en el secado de VR tienden a aumentar positivamente durante el tiempo de secado, mientras que para el secado por CF esta coordenada se mantiene constante durante los primeros 120 minutos, posiblemente porque el producto durante este tiempo no presenta un cambio significativo en el % de humedad. Ver figura 39.

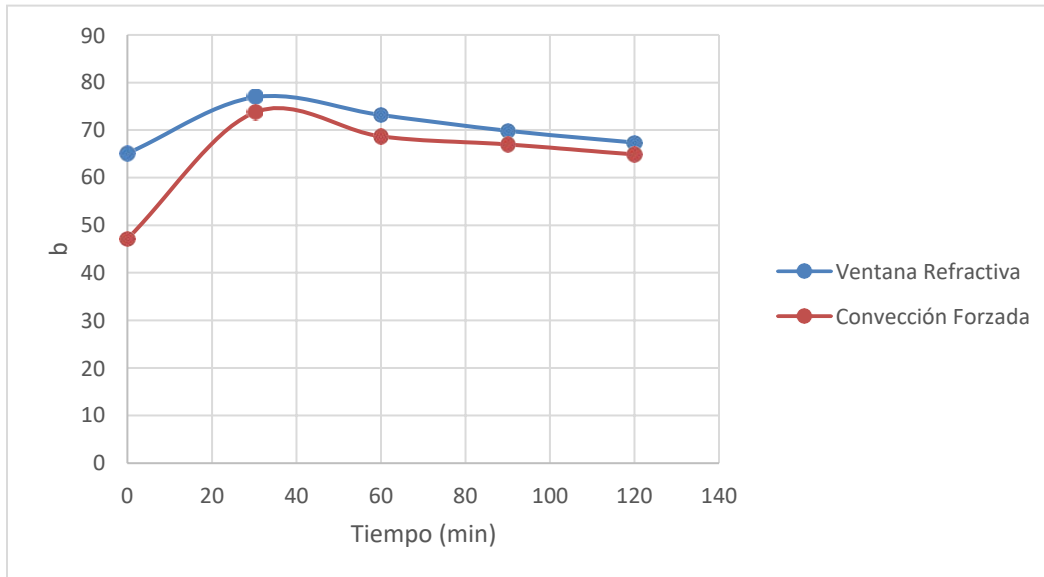
Figura 39. Valores de las coordenadas del color a* en pulpa de mango



Fuente: Propia

En la figura 40, se observa que la coordenada de color en b para ambos casos tiende a permanecer constante durante el tiempo de secado.

Figura 40. Valores de las coordenadas del color b* en pulpa de mango



Fuente: Propia

3.2.4 Análisis de porcentaje de humedad y sólidos solubles totales

Se presentan el promedio y desviación estándar de los resultados obtenidos de °Brix y humedad de la parte experimental del secado de mango por ventana refractiva y convección forzada. Se observa que para la ventana refractiva conforme pasan los periodos de tiempo la humedad disminuye, sobre todo entre la primera media hora, del mismo modo los °Brix van en aumento. Sin embargo, para convección forzada respecto a la técnica de secado por ventana refractiva tardó más periodos de tiempo para llegar a resultados finales similares. En estas técnicas de secado se puede comprobar que las pulpas de fruta pueden superar los 40°Brix durante el tiempo de secado (Morales Pérez & Vélez Ruiz, 2013), ya que es un proceso de eliminación de humedad y concentración de sólidos y el producto final es como una lámina sólida de fruta, procesos similares a este pueden ser la producción de mermeladas y bocadillos donde del mismo modo es una concentración de sólidos con adición de azúcar (PRODAR, 2003).

Para los °Brix se tomó la muestra de cada tiempo de secado y se dispuso en un refractómetro de Abbe con escala de índice de refracción entre 1300 y 1700. Las

muestras que estuvieron en estado sólido se disolvieron 1 a 1 con agua destilada, este análisis se hizo por triplicado a temperatura ambiente.

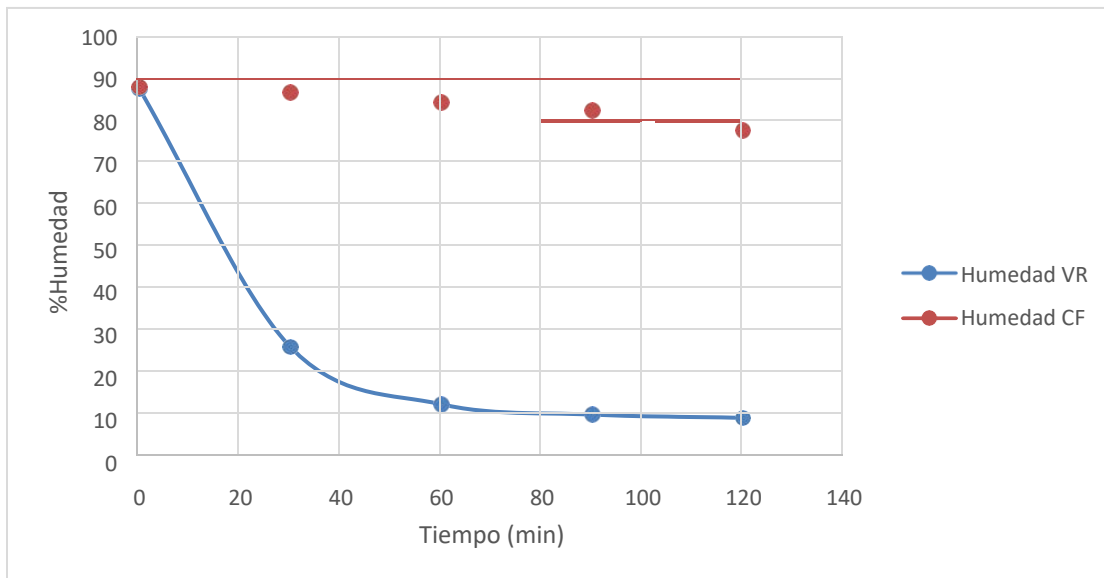
Tabla 16. Promedio y desviación estándar de °Brix y humedad para el secado de ventana refractiva y convección forzada

Tiempo (min)	VR		CF	
	°Brix	%Humedad	°Brix	%Humedad
0	12,09±0,65	87,9%±0,02	12,09±0,65	87,2%±0,02
30	70±1,05	28,6%±0,01	13,97±0,16	85,3%±0,02
60	84,37±0,43	14,3%±0,03	15,43±0,32	84,7%±0,06
90	86,81±0,32	11,9%±0,01	17,11±0,28	82,9%±0,03
120	87,16±1,52	11,1%±0,01	21,02±1,86	77,9%±0,05
180	**	**	24,12±0,08	75,1%±0,02
240	**	**	35,85±0,48	62,6%±0,03
300	**	**	66,72±0,51	32,8%±0,03
360	**	**	87,94±0,51	11,4%±0,02

Fuente: Propia

Se observa en el figura 41, que la humedad decreció significativamente para el método por ventana refractiva en los primeros 30 minutos, y luego empezó a tener peso constante antes de los 120 minutos de proceso; mientras que para convección forzada no logró alcanzar ese contenido ni en 120 minutos de proceso. Respecto a (Zotarelli, Carciofi, & Laurindo, 2015) se encuentran valores similares de humedad para mango al final del proceso de secado (12%) e igualmente con (Zotarelli, da Silva, Durigon, Hubinger, & Laurindo, 2017) que trabajaron con mayor temperatura (95°C) pero llegaron a humedad constante.

Figura 41. Porcentaje de humedad en pulpas de mango

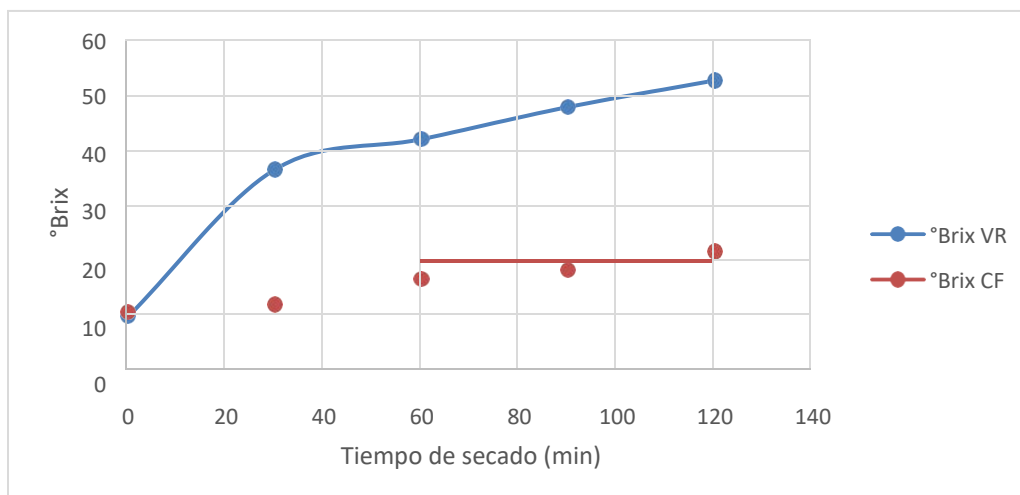


Fuente: Propia.

Análisis de °Brix

En la figura 42 se observa el aumento con el tiempo de los sólidos solubles en la pulpa de mango en ambos tratamientos de secado, se puede comprobar que en 120 minutos el secado por ventana refractiva la pulpa sobrepasa los 50°Brix, mientras que para la pulpa secada por convección forzada superó apenas los 20°Brix en ese mismo tiempo.

Figura 42. Valores de °Brix en pulpas de mango



Fuente: Propia.

En síntesis, los resultados con los cuales se interpreta que la pulpa de mango deshidratada disminuye progresivamente los valores de color en L y b, además de su humedad, por otro lado, aumenta su valor de color a y los °Brix.

En 120 minutos de proceso se observa la reducción de la coordenada L en color para la pulpa de mango en ambas técnicas, pero se observa mayor reducción de la luminosidad en convección forzada, del mismo modo para el valor a se aprecia que aumentó más rápido desde la pulpa fresca a los 120 minutos de secado por VR que por CF, para el valor b se observa un comportamiento similar entre ambas técnicas donde desde el valor en el tiempo 0 sube hacia el minuto 30 y continuamente disminuye; en los °Brix se observa un aumento constante y más pronunciado en VR respecto a CF puesto que la concentración de sólidos solubles es mayor por la reducción de la humedad en el tiempo de secado determinado; por consiguiente, la humedad se ve reducida más rápido en VR que en CF, de hecho en ventana refractiva empieza a tener un peso constante a los 90 min ya que se reportó que la humedad a 120 no es muy distinta, sin embargo, el tiempo que estuvo de más logró que hubiese mayor pardeamiento en la pulpa. Por otra parte, se observa que por convección forzada la pulpa aún seguía líquida a los 120 minutos.

3.3 METODOLOGÍA PARA EL SECADO POR VENTANA REFRACTIVA

Propósito: Establecer una metodología que detalle los procedimientos del secado de frutas por medio de la técnica de ventana refractiva.

Materiales:

- Frutas obtenidas en un mercado local
- Instrumentos para cortar las frutas
- Extractor de jugos
- Moldes para disponer la pulpa sobre el equipo
- Equipo de secado por ventana refractiva

Preparación de la muestra: Se deben tomar frutas con un grado de madurez ideal para consumo, eliminar material innecesario como palos, semillas, piedras, hojas y tallos como se muestra en la figura 43. Se pela el fruto y se disponen sus residuos como orgánicos. Luego se corta el fruto de modo que sea más fácil licuarlo en el extractor de jugos. Es necesario pesar la fruta antes de licuar para comprobar el rendimiento en el proceso. Se dispone la fruta en el extractor de jugos y se hace pasar dos veces para obtener la pulpa necesaria.

Figura 43. Mango Tommy



Fuente: Propia

Preparación del secador: Tener en cuenta antes de preparar la muestra iniciar encendiendo el secador Ver figura 44, encender girando la perilla negra que está junto al botón rojo de apagado de emergencia (ver figura 45) y configurar desde el menú principal (ver figura 46a), luego se observa el menú con 6 botones (ver figura 46b), utilizar el de la tuerca para seleccionar la velocidad de movimiento de la película, sin embargo, para las experimentaciones de este trabajo no se utilizó esta herramienta (ver figura 46c) y presionar el botón del termómetro estableciendo una temperatura de control y una temperatura máxima que indique una alarma, para este trabajo se estableció 90°C para mango (ver figura 46d) e iniciar el calentamiento del agua, se deja reposar hasta que la temperatura del tanque sea homogénea a la requerida. Llenar completamente el tanque de agua de modo que quede en contacto con la película plástica y evitando que queden burbujas de aire que podrían ocasionar fallos en el secado. Los otros botones que se observan en el menú no tienen mayor relevancia en el proceso y por tanto no serán tenidos en cuenta.

Figura 44. Imagen externa del equipo de secado de ventana refractiva



Fuente: Propia

Figura 45. Botones de encendido y apagado de emergencia del equipo



Fuente: Propia.

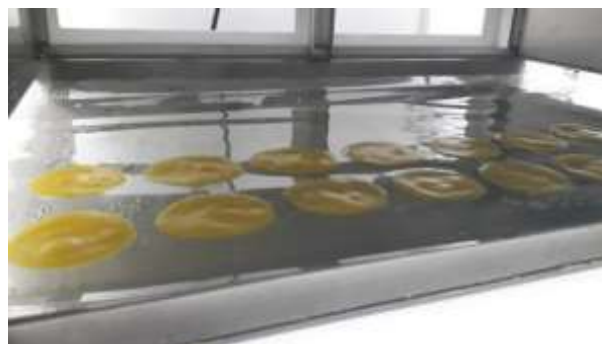
Figura 46. Menú principal y controles del equipo



Fuente: Propia

Disposición de las muestras en el secador: Una vez el equipo muestre que hay homogeneidad de temperatura en el agua se toman los moldes y se disponen de forma uniforme en la película plástica del equipo. Se agrega la pulpa hasta obtener 3 milímetros de espesor de acuerdo con el molde y se dispone la pulpa hasta completar todo el espacio de la película plástica evitando las zonas donde se formaron burbujas de aire, las cuales de algún modo se pudieron originar por el calentamiento del agua. Véase figura 47.

Figura 47. Secado pulpa de mango



Fuente: Propia

Proceso de secado: Para los factores de 3 mm de pulpa y temperatura de 90°C se recomienda definir un tiempo de secado de 120 minutos que es el necesario para que las muestras lleguen a tener peso final constante. Es importante contar el tiempo en el que se dispuso cada muestra si se quiere llevar un control de humedad puesto que el equipo secó rápidamente porque la temperatura de trabajo es superior a 80°C, se recomienda hacer mediciones de °Brix en rangos de tiempo iguales. Por ejemplo: si va a secar durante 120 minutos, tomar 4 muestras (cada 30 min) o tomar 6 muestras (cada 20 min) para tener un promedio de frecuencia de comportamiento de los sólidos solubles.

Recolección de muestras: Una vez finalizado el proceso se debe tener cuidado al momento de retirar las muestras puesto que el contacto con la película de mylar puede quemar por las altas temperaturas del agua y es susceptible a que se perfora; es importante hacerlo con cuidado si se quiere retirar la muestra de forma intacta. Ver figura 48. Una vez retiradas las muestras se procede a limpiar residuos que hayan quedado adheridos en el equipo y se apaga.

Figura 48. Muestra seca de mango



Fuente: Propia.

Apagado y guardado del equipo: Una vez limpiado el equipo se procede a vaciar el tanque de agua para evitar desarrollo de microorganismos dentro del equipo. Se debe ubicar la manguera de salida del agua y llevarla cerca de un desagüe (ver figura 49), en la figura se observa que la válvula de la tubería del centro es la que permite la salida del agua, aunque primero se debe instalar la manguera, una vez asegurada la manguera se debe abrir con cuidado la válvula en caso de que el agua no se haya dejado enfriar y se vacía toda el agua del tanque. Es necesario limpiar con frecuencia el tanque para que no queden muestras sucias que puedan afectar el material a secar en otros ensayos. Se guardan las mangueras, se cierra la válvula y se cierra la

compuerta del equipo.

Figura 49. Salidas y entradas de agua del equipo



Fuente: Propia

En el siguiente diagrama de flujo se muestra de forma sintetizada la secuencia metodológica para el secado de mango por ventana refractiva donde se muestra el orden consecutivo y se tienen en cuenta los factores que pueden afectar el proceso.

Diagrama de proceso de secado de mango por el método de ventana refractiva



4. CONCLUSIONES

- A. El secado por ventana refractiva es una tecnología de deshidratación de cuarta generación que reduce tiempos de secado, mantiene algunas características sensoriales del producto respecto a otras técnicas de secado como la de convección forzada, sin embargo, es mejor utilizarla para secar líquidos y pulpas para producir polvos y concentrados.
- B. De acuerdo con lo revisado en la bibliografía, los factores que más afectan sobre las variables de respuesta analizadas son la temperatura, el espesor y el tiempo de exposición de la muestra para ambas técnicas de secado, no obstante, las variables de respuesta que se ven más influenciados son la humedad, el color y algunos componentes propios de la muestra a secar como vitaminas, carotenos y fenoles. Además, algunos de estos componentes empiezan a verse afectados en las frutas desde la preparación de la muestra en el proceso de descascarado, pelado y despulpado.
- C. La metodología propuesta para el equipo de secado por ventana refractiva del laboratorio de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Pontificia Bolivariana permitirá la orientación para los futuros trabajos de investigación en este tema, de igual manera que mejorará el uso seguro del equipo para sus usuarios.
- D. De acuerdo con los ensayos de laboratorio realizados se puede comprobar que la técnica de secado por ventana refractiva obtiene resultados más favorables con la pulpa de mango respecto a convección forzada teniendo en cuenta los factores como el tiempo de secado, las cuales se comprobaron que para VR alcanza porcentajes de humedad en menor tiempo que CF; también se evidenció que hay mejores resultados en la característica del color ya que entre ambas muestras CF presentó mayor oscurecimiento.
- E. La técnica de secado por ventana refractiva es una técnica de cuarta generación que ha mostrado un avance en el ámbito de deshidratación de alimentos, lo cual con múltiples investigaciones podría lograr más avances en esta temática para optimizar procesos a escala industrial, para obtener mejoras en el producto y la sostenibilidad.

5. RECOMENDACIONES

- A. Reforzar estudios de comparación de la técnica de secado de ventana refractiva con técnicas de tercera generación, como liofilización, secado osmótico y por microondas; los cuales son conocidos por mantener la estructura del producto y provocan menos cambios bromatológicos.
- B. Investigar posibilidades de optimizar el secador de ventana refractiva que se encuentra en el laboratorio de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Pontificia Bolivariana para que existan mejoras en rendimiento al encender para disminuir tiempo de calentamiento, alternativas de películas donde el producto no se adhiera y sea de fácil extracción, manejo de sensores y disminución de recursos como los servicios de agua y energía, implementación de un sistema de control de bombeo del agua hacia la entrada y la salida hacia un desagüe y evitar accidentes con el agua caliente.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abonyi, B. I., Feng, H., Tang, J., Edwards, C. G., Chew, B. P., Mattinson, D. S., & Fellman, J. K. (2002). Quality Retention in Strawberry and Carrot Purees Dried with Refractance Window™ System. *Journal of Food Science*, 67(3), 1051–1056. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09452.x>
- Anias, O. R., Parrado, J. G., Báez, D. E., Fernández, F. H., Díaz, Y. P., Consuegra, S. B., ... Diez, V. R. (2015). Automatización integral del proceso de secado de bioproductos, 1-14.
- Cabrera, E., Sanjuán, N., Panadés, G., & Cruz, L. (2016). Influence of osmotic pretreatment on the convective drying of guava. *International Food Research Journal*, 23(4), 1623–1628. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2012-0020>
- Caparino, O. A., Nindo, C. I., Tang, J., & Sablani, S. S. (2017). Rheological measurements for characterizing sticky point temperature of selected fruit powders: An experimental investigation. *Journal of Food Engineering*, 195, 61–72. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.09.010>
- Caparino, O. A., Tang, J., Nindo, C. I., Sablani, S. S., Powers, J. R., & Fellman, J. K. (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine ‘Carabao’ var.) powder. *Journal of Food Engineering*, 111(1), 135–148. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010>
- Carlos Correa. (2013). Riqueza Química Del Mango.
- Castoldi, M., Zotarelli, M. F., Durigon, A., Carciofi, B. A. M., & Laurindo, J. B. (2015). Production of Tomato Powder by Refractance Window Drying. *Drying Technology*, 33(12), 1463–1473. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.989327>
- Chen, J. P., Tai, C. Y., & Chen, B. H. (2007). Effects of different drying treatments on the stability of carotenoids in Taiwanese mango (*Mangifera indica* L.). *Food Chemistry*, 100(3), 1005–1010. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.056>
- Chua, K. J., Mujumdar, A. S., Chou, S. K., Hawlader, M. N. A., & Ho, J. C. (2000). Convective drying of banana, guava and potato pieces : effect of cyclical variations of air temperature on drying kinetics and color change. *Drying Technology*, 18(4–5), 907–936. <https://doi.org/10.1080/07373930008917744>
- Corpoica. (2013). Modelo Tecnológico para el cultivo del mango en el Valle del alto Magdalena en el Departamento del Tolima Asohofrucol, 112. Retrieved from

http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_264_MP_Mango.pdf

Corrales-Bernal, A., Maldonado, M. E., Urango, L. A., Franco, M. C., & Rojano, B. A. (2014). Mango de azúcar (*Mangifera indica*), variedad de Colombia: características antioxidantes, nutricionales y sensoriales. *Revista Chilena de Nutrición*, 41(3), 312–318. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182014000300013>

Corrêa, J., Rasia, M. C., García-Pérez, J. V, Mulet, A., & Cárcel, J. A. (2013). Influence of Ultrasound Assisted Osmotic Dehydration Pretreatment on Convective Drying of Pineapple. XXXVI Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados ENEMP 2013, (February). <https://doi.org/10.5151/chemeng-cobeq2014-0804-23687-175898>

Corzo, O., Bracho, N., & Alvarez, C. (2008). Water effective diffusion coefficient of mango slices at different maturity stages during air drying. *Journal of Food Engineering*, 87(4), 479–484. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.12.025>

Date, R. (2016). National Nutrient Database for Standard Reference Release 28 slightly revised May , 2016 Basic Report 11222 , Drumstick leaves , raw, 9–10.

Dávila Nava, J. R. (2004). Capítulo 4: Procesos de secado. Estudio Experimental Del Efecto de La Porosidad de Partículas Sobre El Proceso de Secado En Un Lecho Fluidizado a Vacío Empleando Aire, 51–73.

de Castro, D. S., Aires, J. E. F., Aires, K. L. C. A. F., Junior, A. F. da S., da Silva, W. P., & Gomes, J. P. (2016). Physical and chemical changes in guava raisin (*Psidium guajava* L.) produced by osmotic dehydration and drying convective. *Australian Journal of Crop Science*, 10(10), 1449–1454. <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.10.p7455>

de Lima, M. M., Tribuzi, G., de Souza, J. A. R., de Souza, I. G., Laurindo, J. B., & Carciofi, B. A. M. (2016). Vacuum impregnation and drying of calcium-fortified

- pineapple snacks. {LWT} - Food Science and Technology, 72, 501–509.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.016>
- Delmoro, J., Muñoz, D., Nadal, V., & Pranzetti, V. (2010). El color en los alimentos: Determinación de color en mieles. *Invenio*, 13(25), 145–152.
- Devia-Pineda, J. E., & Saldarriaga, D. F. (2005). Proceso para obtener colorante a partir de semilla del aguacate. *Revista Universidad EAFIT*, 41(137), 36–43.
- Dionello, R., Berbert, P. A., Berbert, M., Pereira, R., Viana, A., & Carlesso, V. (2009). Assessment of convective drying models for fresh and osmo-dehydrated pineapple rings. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 29(1), 232–240.
- Dorta, E., Lobo, M. G., & González, M. (2012). Using drying treatments to stabilise mango peel and seed: Effect on antioxidant activity. {LWT} - Food Science and Technology, 45(2), 261–268.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2011.08.016>
- Espinosa, T., & Angelica M. (2015). Determinacion De La Influencia De La Temperatura Y Velocidad Del Aire Sobre Las CINETICAS De Secado De Tres Variedades De Yuca Procesadas En La Planta Instalada En La Vereda Los Algarrobos. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, 1.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Falquez, L., & González, D. (2010). Comercializadora Pulpa de Mango. Retrieved from <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6168/1/T-UCSG-PRE-ECO-CECO-111.pdf>
- Fao. (2012). Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo - Alcance, causas y prevención. Roma. <https://doi.org/10.3738/1982.2278.562>
- Flores, L., Maria, G., & Pico, X. (2014). Escuela Superior Politecnica Del Litoral. *Cib*, 3–5. Retrieved from http://www.cib.espol.edu.ec/digips/D_Tesis_PS/D-26797.ps
- Forero, D. P., Orrego, C. E., Peterson, D. G., & Osorio, C. (2015). Chemical and sensory comparison of fresh and dried lulo (*Solanum quitoense* Lam.) fruit aroma.

Food Chemistry, 169, 85-91.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.111>

Giraldo, G., Germán, A., Duque, C., Alba, L., García, W., & Claudia, L. (2005). Redalyc.MÉTODOS COMBINADOS DE SECADO PARA EL ESCARCHADO DE MANGO (*Mangifera indica*) var. Kent, 5-12.

Goyal, R. K., Kingsly, A. R. P., Manikantan, M. R., & Ilyas, S. M. (2006). Thin-layer Drying Kinetics of Raw Mango Slices. *Biosystems Engineering*, 95(1), 43-49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.05.001>

Gwala, W., & Padmavati, R. (2016). Comparative Analysis of Shrinkage of Pineapple during Convective Drying in Sun , Solar and Electric Tray Drying, V(Ix),1-6.

Hipólito, C., Ramalheira, R., Beirão da Costa, S., & Moldão-Martins, M. (2016). The effect of fruit cultivar/origin and storage time on sorbets quality. *LWT - Food Science and Technology*, 68, 462-469. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.054>

HLPE. (2014). Food Losses and Waste in the Context of Sustainable Food Systems. A Report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. Hlpe Report, (June), 1-6. <https://doi.org/65842315>

Influence of air drying properties on non-enzymatic browning, major bio-active compounds and antioxidant capacity of osmotically pretreated papaya Udomkun, P., Nagle, M., Mahayothee, B., Nohr, D., Koza, A., & Müller, J. (2015). Influence of air drying properties on non-enzymatic browning, major bio-active compounds and antioxidant capacity of osmotically pretreated papaya. {LWT} - Food Science and Technology, 60(2, Part 1), 914-922. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.036>

Inpromac. (n.d.). Deshidratado con rayos infrarrojos, 1-7. Retrieved from <http://www.inpromac.com.pe/images/pdf/producto1.pdf>

Izli, N., Izli, G., & Taskin, O. (2017). Influence of different drying techniques on drying parameters of mango. *Food Science and Technology*, 1-9.

Krishnamurthy, K., Khurana, H. K., Soojin, J., Irudayaraj, J., & Demirci, A. (2008). Infrared heating in food processing: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(1), 2-13. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2007.00024.x>

Kurozawa, L. E., Terng, I., Hubinger, M. D., & Park, K. J. (2014). Ascorbic acid degradation of papaya during drying: Effect of process conditions and glass

transition phenomenon. *Journal of Food Engineering*, 123, 157–164. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.039>

Leiton, Y. M. (2012). Evaluación del método de secado por ventana de refractancia en pulpa de guayaba (*Psidium guajava*), 97.

Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., Grau, A. A., Briones, V., Villalobos, R., & Vega-Gálvez, A. (2009). Effect of Osmotic Pretreatment on Hot Air Drying Kinetics and Quality of Chilean Papaya (*Carica pubescens*). *Drying Technology*, 27(10), 1105–1115. <https://doi.org/10.1080/07373930903221291>

Lobo, F. A., Nascimento, M. A., Domingues, J. R., Falcão, D. Q., Hernanz, D., Heredia, F. J., & de Lima Araujo, K. G. (2017). Foam mat drying of Tommy Atkins mango: Effects of air temperature and concentrations of soy lecithin and carboxymethylcellulose on phenolic composition, mangiferin, and antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 221, 258–266. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.080>

Mango Kingston. (2018). Retrieved from <http://www.kingstonfresh.com/ourproducts/mangos.cfm>

Mango Osteen. (2018). Retrieved from <https://www.virtualmarket.fruitlogistica.com/es/MANGO-Osteen-•-Palmer-•-Kent-•-Keitt,p1582152>

MANUAL para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas: parte 2: control de calidad, almacenamiento y transporte. (1989). Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=oEW3kgEACAAJ>

Márkus, F., Daood, H. G., Kapitány, J., & Biacs, P. A. (1999). Change in the carotenoid and antioxidant content of spice red pepper (Paprika) as a function of ripening and some technological factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(1), 100–107. <https://doi.org/10.1021/jf980485z>

Martínez Cadena, J. (2008). Análisis experimental del secado de semillas de pimienta grande (dp=7.55mm) en un lecho fluidizado al vacío empleando aire, 234.

Mejía Terán, A. L. (2011). Efecto de la deshidratación por radiación infrarroja sobre algunas características fisicoquímicas de interés comercial del Aloe vera (*Aloe*

- barbadensis)., 77. Retrieved from <http://intellectum.unisabana.edu.co/handle/10818/1249?locale-attribute=en>
- Mercer, D. (2013). A comparison of the kinetics of mango drying in open-air, solar, and forced-air dryers. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and ...*, 12(7), 6835–6852. <https://doi.org/10.4314/ajfand.v12i7>.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2002). Piña, 8. Retrieved from http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec-pina.pdf
- Mora Montero, J., Gamboa Porras, J., & Elizondo Murillo, R. (2002). Guía para el cultivo del Mango. Retrieved from http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec-mango.pdf
- Morales, M., Hernandez, M. S., Cabezas, M., Barrera, J., & Martinez, O. (2001). Caracterización de la maduración del fruto de piña nativa (*Ananas comosus* L. Merrill) cv. India (Characterization of the ripening of pineapple (*Ananas comosus* L. Merrill) cv. India fruit). *Agronomía Colombiana*, 18(1/3), 63–69.
- Morales Pérez, J., & Vélez Ruiz, J. F. (2013). Deshidratación de frutas y hortalizas por ventana refractiva®. *Revista Reciteia*, 13(2), 36–46.
- Nicoletti, J. F., Telis-Romero, J., & Telis, V. R. N. (2001). Air-drying of fresh and osmotically pre-treated pineapple slices: fixed air temperature versus fixed slice temperature drying kinetics. *Drying Technology*, 19(9), 2175–2191. <https://doi.org/10.1081/DRT-100107493>
- Nieto, A., Castro, M. A., & Alzamora, S. M. (2001). Kinetics of moisture transfer during air drying of blanched and/or osmotically dehydrated mango. *Journal of Food Engineering*, 50(3), 175–185. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00026-7](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00026-7)
- Nindo, C. I., Powers, J. R., & Tang, J. (2007). Influence of Refractance Window evaporation on quality of juices from small fruits. *LWT - Food Science and*

- Technology, 40(6), 1000–1007.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2006.07.006>
- Norma Técnica Colombiana. NTC 1263. Guayaba. (1970).
- Norma Técnica Colombiana. NTC 1266. Frutas Frescas. Mangos. (1994).
- Norma Técnica Colombiana. NTC 5210. Frutas Frescas. Mango. Variedades Mejoradas. Especificaciones. (1996).
- Norma Técnica Colombiana. NTC 729-1. Frutas Frescas. Piña. Especificaciones. (1996).
- Norma Técnica Colombiana. NTC 4102. Frutas Frescas. Piña Manzana. Especificaciones. (1997).
- Ochoa-Martínez, C. I., Quintero, P. T., Ayala, A. A., & Ortiz, M. J. (2012). Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique. *Journal of Food Engineering*, 109(1), 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.032>
- Ocoro, M., & Ayala, A. (2012). Evaluation of the Refractance Window Technique on drying of papaya (*Carica papaya* L.) purée. *Vitae*, 19(1), S72–S74.
- Ocoró Zamora, M. U., & Ayala-Aponte, A. (2014). Influence of thickness on the drying of papaya puree (*carica papaya* l.) through refractance windowtm technology. *Dyna*; Vol. 80, Num. 182 (2013); 147-154 *DYNA*; Vol. 80, Num. 182 (2013); 147-154 2346-2183 0012-7353, 147-154. Retrieved from <http://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/31560>
- Ordóñez-Santos, L. E., Portilla, M. A. O., & Rodríguez, D. X. R. (2013). Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Lasallista de Investigacion*, 10(2), 44–51.
- Ortiz, M. (2014). Modelación Matemática Del Secado De Alimentos Por El Método De Ventana De Refractancia, 126. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Ponkham, K., Meeso, N., Soponronnarit, S., & Siriamornpun, S. (2012). Modeling of combined far-infrared radiation and air drying of a ring shaped-pineapple with/without shrinkage. *Food and Bioprocess Processing*, 90(2), 155–164. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2011.02.008>
- Prediction and Determination of Ascorbic Acid Content During Pineapple. (2004), (August 2015).
- Prodar. (2003). Fichas técnicas procesados de frutas. Ica, 79. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Queiroz, V. A. V, Berbert, P. A., Molina, M. A. B. de, Gravina, G. de A., Queiroz, L. R., & Lombardi, C. T. (2009). Proximate composition of guava subjected to osmotic

dehydration and convective drying. *Revista Brasileira de Armazenamento*, 34(2), 95-103.

Quintero, V., Giraldo, G., Lucas, J., & Vasco, J. (2013). Caracterización fisicoquímica del mango común (*Mangifera indica* L.) durante su proceso de maduración. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 10-18.

Ramesh, M. N., Wolf, W., Tevini, D., & Jung, G. (2001). Influence of processing parameters on the drying of spice paprika. *Journal of Food Engineering*, 49(1), 63-72. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00185-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00185-0)

Reads, C., & Profile, C. S. E. E. (2015). *ENGINEERING*, (December).

Richard, J. M., Bernadette, K. N., Trude, W., Lucy, M. C., & Bernard, E. C. (2015). Effect of solar drying methods on total phenolic contents and antioxidant activity of commonly consumed fruits and vegetable (mango, banana, pineapple and tomato) in Tanzania. *African Journal of Food Science*, 9(5), 291-300. <https://doi.org/10.5897/AJFS2015.1232>

Rodríguez J.A. (2015). Reacción de Maillard. Oscurecimiento no enzimático. 1, 1(1), 37. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08772>

Rodríguez-ramirez, J., Ramirez-lavariaga, A. G., Lilia, L., & Sosa, I. A.-. (2016). P2-26 SHRINKAGE DURING CONVECTIVE DRYING OF PAPAYA (*Carica papaya* L.), (August), 7-10.

Rodríguez, Ó., Gomes, W., Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. N. (2017). Effect of acoustically assisted treatments on vitamins, antioxidant activity, organic acids and drying kinetics of pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry*, 35, Part A, 92-102. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.09.006>

Rojas, H. G. (2001). *Cultivos Permanentes*. (U. del Quindío, Ed.).

Sánchez, M., Ahuja, S., & Acevedo, R. (2015). Producción de piña cayena lisa y MD2 (*Ananas comosus* L.) en condiciones de Loma Bonita, Oaxaca, 2, 100-110.

Seiedlou, S., Ghasemzadeh, H. R., Hamdami, N., Talati, F., & Moghaddam, M. (2010). Convective drying of apple: Mathematical modeling and determination of some quality parameters. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12(2), 171-178.

Serpa G, A. M., Castrillón Martínez, D. C., Vásquez Osorio, D. C., & Hincapié Llanos, G. A. (2015). Efecto de la liofilización sobre las propiedades técnico funcionales de la fibra dietaria y el contenido de vitamina c presentes en la guayaba pera (*psidium*

- guajava l.). Effect of freeze drying on the technical and functional properties of dietary fiber , 9(2), 70–79. <https://doi.org/10.18566/ria.v09n02.a01>
- Siow, L. F., & Hui, Y. W. (2013). Comparison on the antioxidant properties of fresh and convection oven-dried guava (*Psidium guajava* L.). *International Food Research Journal*, 20(2), 639–644.
- Sogi, D. S., Siddiq, M., & Dolan, K. D. (2015). Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. *{LWT} - Food Science and Technology*, 62(1, Part 2), 564–568. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.015>
- Solarte, M. E., Hernández, M. S., Morales, A. L., Fernández-Trujillo, J. P., & Melgarejo, L. M. (2010). Caracterización fisiológica y bioquímica del fruto de guayaba durante la maduración. Development of functional promotional products from guayaba (*psidium guajava* l.) for strengthening the productive chain, 83–119.
- Tan, M., Chua, K. J., Mujumdar, A. S., & Chou, S. K. (2001). Effect of osmotic pretreatment and infrared radiation on drying rate and color changes during drying of potato and pineapple. *Drying Technology*, 19(9), 2193–2207. <https://doi.org/10.1081/DRT-100107494>
- Tanetahi. (2010). Mango Keitt. Retrieved from <https://www.flickr.com/photos/72793939@N00/4450471050/in/photolist-7MgPZu-4mqSV-9kZJuK-6Wx7RB-X7nMyE-5osqWQ-5osrhN-5ooajk-6WB88q-5osqZd-FACkL9-ahYQAQ-FACmxQ-azaYuG-az25BD-aAofQm-cU7BiN-mfYeun-9MkygV-8wpLMr-dk4vDn-dckVht-R49qCU-Gwrfri-7zd2sE-yBopxa-yTULLx->
- Tang, J., & Ph, D. (1999). Evaluation of Energy Efficiency and Quality Retention for the Refractance Window TM Drying System, 1–38.
- Tanongkankit, Y. (2016). Empirical Modeling on Hot Air Drying of Fresh and Pre-treated Pineapples, 02007, 0–3.
- Topuz, A., Dincer, C., Özdemir, K. S., Feng, H., & Kushad, M. (2011). Influence of different drying methods on carotenoids and capsaicinoids of paprika (Cv., Jalapeno). *Food Chemistry*, 129(3), 860–865. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.035>
- Torres, R., Montes, E. J., Pérez, O. A., & Andrade, R. D. (2013). Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales.

Informacion Tecnologica, 24(3), 51-56. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000300007>

Úbeda-Gallego, A. (2012). PROYECTO FIN DE CARRERA autenticación de zumos de frutas, 125.

Udomkun, P., Argyropoulos, D., Nagle, M., Mahayothee, B., & Müller, J. (2015). Sorption behaviour of papayas as affected by compositional and structural alterations from osmotic pretreatment and drying. *Journal of Food Engineering*, 157, 14-23. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.01.022>

Unam. (2008). Fundamentos y Técnicas de Análisis De Alimentos. Laboratorio de Alimentos 1, 2, 58. Retrieved from http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/FUNDAMENTOSYTECNICASDEANALISISDEALIMENTOS_12286.pdf

Valdés, d. f., Becerá, s. m., Pereira, a. g., Beyra, r. c., & Valdés, d. f. (2015). Cinética de secado de fruta bomba (Carica papaya L ., cv . Maradol Roja) mediante los métodos de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente Kinetic of drying papaya fruit (Carica papaya L ., cv . Maradol RCinética de secado de fruta bomba (C. Revista Ciencias Técnicas Agropecuárias, 24(1), 22-28.

Vargas Ulate, G. (2002). La Tropicalidad Y El Análisis Geográfico. *Reflexiones*, 1(81), 1-15. Retrieved from https://www.reflexiones.fcs.ucr.ac.cr/images/edicion_81_1_02/la_tropicalidad.pdf

Villa-Corrales, L., Flores-Prieto, J. J., Xamán-Villaseñor, J. P., & García-Hernández, E. (2010). Numerical and experimental analysis of heat and moisture transfer during drying of Ataulfo mango. *Journal of Food Engineering*, 98(2), 198-206. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.12.026>

World Nut and Dried Fruit Trade Maps. (2015), 2015, 2015.

Yan, Z., Sousa-Gallagher, M. J., & Oliveira, F. A. R. (2008). Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. *Journal of Food Engineering*, 84(3), 430-440. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.06.004>

Zotarelli, M. F., Carciofi, B. A. M., & Laurindo, J. B. (2015). Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window. *Food Research*

International, 69, 410-417.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.013>

Zotarelli, M. F., da Silva, V. M., Durigon, A., Hubinger, M. D., & Laurindo, J. B. (2017). Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. *Powder Technology*, 305, 447-454. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.10.027>

Zotarelli, M. F., Porciuncula, B. D. A., & Laurindo, J. B. (2012). A convective multi-flash drying process for producing dehydrated crispy fruits. *Journal of Food Engineering*, 108(4), 523-531.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.014>

7. ANEXOS

Anexo 1. Condiciones de secado en los artículos consultados

En la siguiente tabla se presentan los artículos, la fruta que se empleó, la técnica y los factores más destacados como el estado de la muestra, el espesor, la temperatura, tiempo y velocidad del aire para la técnica de convección forzada.

Título	Fruto	Técnica	Factores				
			Estado de la muestra	Espesor	Temperatura	Velocidad del aire	Tiempo
Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window	Mango	VR	Pulpa	3 mm	95°C	**	120 mins
Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique	Mango	VR	Fruta cortada	1 mm	92°C	**	60 min
		CF			62°C	0,52 m/s	240 min
Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder	Mango	VR	Pulpa	0,7 mm	97°C	**	3 min
Evaluación del método de secado por ventana de refractancia en pulpa de guayaba (Psidium guajava)	Guayaba	VR	Pulpa	3 mm	90°C	**	120 mins

Influencia del espesor en secado de puré de papaya (<i>carica papaya l.</i>) por tecnología de ventana de refractancia	Papaya	VR	Pulpa	3 mm	70°C	**	180 min
Evaluación de la técnica de ventana de refractancia en el secado de puré de papaya (<i>carica papaya l.</i>)	Papaya	VR	Pulpa	2 mm	90°C	**	90 min
Produção e caracterização de mamão papaia em pó por cast-tape drying	Papaya	VR	Pulpa	2 mm	98°C	**	10 min
Study of the extraction process of papain from the latex of the fruit of papaya (<i>Carica papaya L.</i>) cv. Maradol	Papaya	VR	Pulpa	2 mm	95°C	**	50 min
Rheological measurements for characterizing sticky point temperature of selected fruit powders: An experimental investigation	Mango	VR	Pulpa	3mm	90°C	**	120 min
Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying	Mango	VR	Pulpa	**	95°C	**	100 min
Total phenolics and carotenoids of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques	Cáscara de Mango	CF	Fruta cortada	5 mm	65°C	1 m/s	120 min

	Semilla de Mango		**	**			480 min
A comparison of kinetics of mango drying in open air, solar and forced air dryers	Mango	CF	Fruta cortada	5 mm	60°C	0,5 m/s	660 min
A convective multi-flash drying process for producing dehydrated crispy fruits	Mango	CF	Fruta cortada	7 mm	60°C	1 m/s	240 min
Foam mat drying of Tommy Atkins mango: Effects of air temperature and concentrations of soy lecithin and carboxymethylcellulose on phenolic composition, mangiferin, and antioxidant capacity	Mango	CF	Pulpa	3 mm	80°C	0,6 m/s	360 min
Using drying treatments to stabilise mango peel and seed: Effect on antioxidant activity	Cáscara de mango	CF	Fruto entero	**	70°C	1 m/s	1440 min
Water effective diffusion coefficient of mango slices at different maturity stages during air drying	Mango	CF	Fruta cortada	3 mm	70°C	1,8 m/s	160 min
Kinetics of moisture transfer during air drying of blanched and/or osmotically dehydrated mango	Mango	CF	Fruta cortada	2 mm	60°C	1 m/s	360 min
Effects of different drying treatments on the stability of carotenoids in Taiwanese mango (<i>Mangifera indica</i> L.)	Mango	CF	Fruta cortada	4 mm	80°C	1 m/s	300 min
Thin-layer Drying Kinetics of Raw Mango Slices	Mango	CF	Fruta cortada	**	65°C	1 m/s	180 min

Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying	Piña	CF	Fruta cortada	11 mm	70°C	1 m/s	600 min
Numerical and experimental analysis of heat and moisture transfer during drying of Ataulfo mango	Mango	CF	Fruta cortada	3 mm	65 °C	1 m/s	300 min
Efecto de la velocidad y la temperatura del aire sobre la contracción del mango en el proceso de secado convectivo	Mango	CF	Fruta cortada	25 mm	60°C	4 m/s	160 min
Efecto de Tratamientos de Ultrasonido en el Tiempo de Secado por Aire de Trozos de Piña y Mango	Mango	CF	Fruta cortada	5 mm	60°C	1 m/s	600 min
Métodos combinados de secado para el escarchado de mango (<i>Mangifera indica</i>)	Mango	CF	Fruta cortada	20 mm	35°C	1 m/s	1000 min
Influence of different drying techniques on drying parameters of mango	Mango	CF	Fruta cortada	3 mm	80°C	1,5 m/s	95 min
Effect of solar drying methods on total phenolic contents and antioxidant activity of commonly consumed fruits and vegetable (mango, banana, pineapple and tomato) in Tanzania	Mango	CF	Fruta cortada	5 mm	60 - 73°C	1 m/s	2880 min

Vacuum impregnation and drying of calcium-fortified pineapple snacks	Piña	CF	Fruta cortada	5 mm	60°C	1 m/s	840 min
Effect of acoustically assisted treatments on vitamins, antioxidant activity, organic acids and drying kinetics of pineapple	Piña	CF	Fruta cortada	10 mm	60°C	0,5 m/s	480 min
Effect of osmotic pre-treatment and infrared radiation on drying rate and color changes during drying of potato and pineapple	Piña	CF	Fruta cortada	5 mm	75°C	1 m/s	420 min
Modeling of combined far-infrared radiation and air drying of a ring shaped-pineapple with/without shrinkage	Piña	CF	Fruta cortada	10 mm	60°C	1,5 m/s	480 min
Prediction and determination of ascorbic acid content during pineapple drying	Piña	CF	Fruta cortada	6 mm	60°C	2,5 m/s	230 min
Influence of ultrasound pretreatment on convective drying on pineapple	Piña	CF	Fruta cortada	5 mm	40°C	1 m/s	660 min
Comparative Analysis of Shrinkage of Pineapple during Convective Drying in Sun, Solar and Electric Tray Drying	Piña	CF	Fruta cortada	10 mm	60°C	1,2 m/s	900 min

Secagem de fatias de abacaxi in natura e pré-desidratadas por imersão-impregnação: cinética e avaliação de modelos	Piña	CF	Fruta cortada	10 mm	60°C	1,25 m/s	840 min
Air-drying of fresh and osmotically pre-treated pineapple slices: fixed air temperature versus fixed slice temperature drying kinetics	Piña	CF	Fruta cortada	5 mm	70°C	1,5 m/s	360 min
Empirical modeling on hot air drying of fresh and pretrated pineapples	Piña	CF	Fruta cortada	3mm	80°C	1 m/s	210 min
Influence of air drying properties on non-enzymatic browning, major bio-active compounds and antioxidant capacity of osmotically pretreated papaya	Papaya	CF	Fruta cortada	2 mm	70°C	0,2 m/s	**
Sorption behaviour of papayas as affected by compositional and structural alterations from osmotic pretreatment and drying	Papaya	CF	Fruta cortada	20 mm	70°C	0,5 m/s	120 mins
Effect of Osmotic Pretreatment on Hot Air Drying Kinetics and Quality of Chilean Papaya (<i>Carica pubescens</i>)	Papaya	CF	Fruta cortada	2 mm	80°C	0,5 m/s	360 min
Ascorbic acid degradation of papaya during drying: Effect of process conditions and glass transition phenomenon	Papaya	CF	Fruta cortada	20 mm	70°C	1 m/s	800 min

Optimizing Process Parameters for Foam Mat Drying of Papaya Pulp (Carica Papaa L.)	Papaya	CF	Pulpa	1 mm	60°C	1 m/s	360 min
Drying of Papaya Seeds (Carica papaya L.)	Semillas de papaya con mucílago	CF	**	**	60°C	2 m/s	1200 min
Shrinkage during convective drying of papaya (<i>Carica papaya L.</i>)	Papaya	CF	Fruta cortada	20 mm	70°C	1,2 m/s	300 min
Modelado de la Cinética de Secado de la Papaya Chilena (<i>Vasconcellea pubescens</i>)	Papaya	CF	Fruta cortada	10 mm	70°C	1,5 m/s	220 min
Cinética de secado de fruta bomba (<i>Carica papaya L.</i> , cv. Maradol Roja) mediante los métodos de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente	Papaya	CF	Fruta cortada	10 mm	60°C	2 m/s	300 min
Efecto de la deshidratación por secado con aire caliente y liofilización sobre las propiedades funcionales de la fibra dietaria y el contenido de vitamina C presentes en la guayaba pera	Guayaba	CF	Fruta cortada	5 mm	40°C	3 m/s	1440 min
Proximate composition of guava subjected to osmotic dehydration and convective drying.	Guayaba	CF	Fruta cortada	2 mm	55°C	1,28 m/s	480 min

Comparison on the antioxidant properties of fresh and convection oven-dried guava (<i>Psidium guajava</i> L.)	Guayaba	CF	Fruta cortada	5 mm	40°C	1,2 m/s	540 min
Physical and chemical changes in guava raisin (<i>Psidium guajava</i> L.) produced by osmotic dehydration and drying convective	Guayaba	CF	Fruta cortada	9 mm	60°C	1 m/s	420 min
Evaluation of total carotenoids and ascorbic acid in osmotic pretreated guavas during convective drying.	Guayaba	CF	Fruta cortada	0,5 mm	60°C	1,2 m/s	240 min
Influence of osmotic pretreatment on the convective drying of guava	Guayaba	CF	Fruta cortada	6,9 mm	70°C	1 m/s	300 min
Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades tecnico funcionales de la fibra dietaria presente en la guayaba (<i>Psidium guajava</i> L.) variedad pera	Guayaba	CF	Fruta cortada	5 mm	70°C	3 m/s	960 min

Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (Psidium guajava L.)	Guayaba	CF	Fruta cortada	5,3 mm	75°C	1 m/s	40 min
---	---------	----	---------------	--------	------	-------	--------

Anexo 2. Criterios definidos en secado según los artículos consultados

En la siguiente tabla se expresa el fruto utilizado, la técnica y como los factores influenciaron en los criterios como color, nutrientes, otros componentes, humedad, acidez y pH.

Título	Fruto	Técnica	Criterios						
			Color	Nutrientes	Otros componentes	Humedad	°Brix	Acidez	pH
Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window	Mango	VR	**	**	**	12%	**	**	**
Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique	Mango	VR	Conservó más color hubo DS p <0,05 respecto a CF	**	**	10%	**	**	**
		CF	Hubo DS p <0,05 respecto a VR	**	**	12%	**	**	**
Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder	Mango	VR	Hubo DS p<0,05 en VR	**	**	2%	**	**	**
Evaluación del método de secado por ventana de refractancia en pulpa de guayaba (Psidium guajava)	Guayaba	VR	Hubo Pardeamiento DS p<0,05	Reducción de Vitamina C entre 86% y 68%	No hay Reducción significativa (p>0,05) de carotenos	4,50%	16°Brix	**	**
Influencia del espesor en secado de puré de papaya (carica papaya l.) por tecnología de ventana de	Papaya	VR	No hubo DS p<0,05	**	**	11%	**	**	**

refractancia									
Evaluación de la técnica de ventana de refractancia en el secado de puré de papaya (<i>carica papaya l.</i>)	Papaya	VR	**	**	**	14%	**	**	**
Produção e caracterização de mamão papaia em pó por cast-tape drying	Papaya	VR	No hubo DS	**	**	4%	**	**	**
Study of the extraction process of papain from the latex of the fruit of papaya (<i>Carica papaya L.</i>) cv. Maradol	Papaya	VR	**	**	**	8%	**	**	5,09
Rheological measurements for characterizing sticky point temperature of selected fruit powders: An experimental investigation	Mango	VR	**	**	**	4%	**	**	**
Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying	Mango	VR	No hubo DS entre muestras ($p < 0,1$)	**	No hay Reducción significativa ($p > 0,05$) de carotenos	4%	15°Brix	**	**

Total phenolics and carotenoids of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques	Cáscara de Mango	CF	**	Hubo DS (p<0,05) de ácido ascórbico	Hubo DS (p<0,05) de fenoles	9,3% cáscara	**	**	**
	Semilla de Mango			Hubo DS (p<0,05) de ácido ascórbico	Hubo DS (p<0,05) de fenoles	10,3% semilla	**	**	**
A comparison of kinetics of mango drying in open air, solar and forced air dryers	Mango	CF	**	**	**	10%	**	**	**
A convective multi-flash drying process for producing dehydrated crispy fruits	Mango	CF	**	**	**	9%	**	**	**
Foam mat drying of Tommy Atkins mango: Effects of air temperature and concentrations of soy lecithin and carboxymethylcellulose on phenolic composition, mangiferin, and antioxidant capacity	Mango	CF	**	**	Hubo DS (p<0,05) de Fenoles, reducción	10%	**	**	**
Using drying treatments to stabilise mango peel and seed: Effect on antioxidant activity	Cáscara de mango	CF	**	**	Hubo DS (p<0,05) de antioxidantes, reducción	13%	**	**	**
Water effective diffusion coefficient of mango slices at different maturity stages during air drying	Mango	CF	**	**	**	0,50%	**	**	**

Kinetics of moisture transfer during air drying of blanched and/or osmotically dehydrated mango	Mango	CF	**	**	**	11%	**	**	**
Effects of different drying treatments on the stability of carotenoids in Taiwanese mango (<i>Mangifera indica</i> L.)	Mango	CF	**	**	Hubo DS (p<0,05) de carotenoides, reducción	10%	**	**	**
Thin-layer Drying Kinetics of Raw Mango Slices	Mango	CF	**	**	**	8%	**	**	**
Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying	Piña	CF	**	**	**	6%	**	**	**
Numerical and experimental analysis of heat and moisture transfer during drying of Ataulfo mango	Mango	CF	**	**	**	6%	**	**	**
Efecto de la velocidad y la temperatura del aire sobre la contracción del mango en el proceso de secado convectivo	Mango	CF	**	**	**	13%	**	**	**
Efecto de Tratamientos de Ultrasonido en el Tiempo de Secado por Aire de Trozos de Piña y Mango	Mango	CF	**	**	**	No hubo DS entre tratamiento 2,1%	**	**	**
Métodos combinados de secado para el escarchado de mango (<i>Mangifera indica</i>)	Mango	CF	**	**	**	25%	68°Brix - 72°Brix	**	**

Influence of different drying techniques on drying parameters of mango	Mango	CF	Hubo Pardeamiento DS $p < 0,05$	Hubo DS ($p < 0,05$) de ácido ascórbico	Hubo DS ($p < 0,05$) de fenoles	5%	**	**	**
Effect of solar drying methods on total phenolic contents and antioxidant activity of commonly consumed fruits and vegetable (mango, banana, pineapple and tomato) in Tanzania	Mango	CF	**	**	Hubo DS ($p < 0,05$) de fenoles y antioxidantes respecto a las otras técnicas	14,30%	**	**	**
Vacuum impregnation and drying of calcium-fortified pineapple snacks	Piña	CF	**	No hubo reducción significativa de Calcio	**	7,90%	**	**	**
Effect of acoustically assisted treatments on vitamins, antioxidant activity, organic acids and drying kinetics of pineapple	Piña	CF	**	Hubo DS ($p < 0,05$) de las vitaminas B1, B2, B3, B5, C, se redujeron	Hubo DS ($p < 0,05$) de antioxidantes, reducción	14%	**	**	**
Effect of osmotic pre-treatment and infrared radiation on drying rate and color changes during drying of potato and pineapple	Piña	CF	No hubo DS	**	**	13%	**	**	**

Modeling of combined far-infrared radiation and air drying of a ring shaped-pineapple with/without shrinkage	Piña	CF	**	**	**	8,90%	**	**	**
Prediction and determination of ascorbic acid content during pineapple drying	Piña	CF	**	Ácido ascórbico hubo DS respecto a otros tratamientos	**	8%	**	**	**
Influence of ultrasound pretreatment on convective drying on pineapple	Piña	CF	**	**	**	12%	**	**	**
Comparative Analysis of Shrinkage of Pineapple during Convective Drying in Sun, Solar and Electric Tray Drying	Piña	CF	**	**	**	10%	**	**	**
Secagem de fatias de abacaxi in natura e pré-desidratadas por imersão-impregnação: cinética e avaliação de modelos	Piña	CF	**	**	**	11%	**	**	**
Air-drying of fresh and osmotically pre-treated pineapple slices: fixed air temperature versus fixed slice temperature drying kinetics	Piña	CF	**	**	**	7%	**	**	**
Empirical modeling on hot air drying of fresh and pretrated pineapples	Piña	CF	**	**	**	2,80%	**	**	**

Influence of air drying properties on non-enzymatic browning, major bio-active compounds and antioxidant capacity of osmotically pretreated papaya	Papaya	CF	**	No hubo reducción significativa de Calcio	**	10%	**	**	4,1
Sorption behaviour of papayas as affected by compositional and structural alterations from osmotic pretreatment and drying	Papaya	CF	**	No hubo reducción significativa de Calcio	**	13,50%	24,22°Brix	1,254	**
Effect of Osmotic Pretreatment on Hot Air Drying Kinetics and Quality of Chilean Papaya (<i>Carica pubescens</i>)	Papaya	CF	**	Hubo DS ($p < 0,05$) en Ácido Ascórbico y Vitamina C, se redujo	**	12%	**	**	**
Ascorbic acid degradation of papaya during drying: Effect of process conditions and glass transition phenomenon	Papaya	CF	**	Hubo retención del 50% de ácido ascórbico	**	18%	**	**	**
Optimizing Process Parameters for Foam Mat Drying of Papaya Pulp (<i>Carica Papaa L.</i>)	Papaya	CF	Hubo DS $p < 0,05$	Hubo DS ($p < 0,05$) Ac ascórbico y betacaroteno, se redujo	**	14%	5,3°Brix	**	5,37

Drying of Papaya Seeds (Carca papaya L.)	Semillas de papaya con mucílago	CF	**	**	**	7%	**	**	**
Shrinkage during convective drying of papaya (<i>Carica papaya L.</i>)	Papaya	CF	Hubo Pardeamiento DS $p < 0,05$	**	**	8%	**	0,082 ácido cítrico	4,6
Modelado de la Cinética de Secado de la Papaya Chilena (<i>Vasconcellea pubescens</i>)	Papaya	CF	**	**	**	5%	**	**	**
Cinética de secado de fruta bomba (<i>Carica papaya L.</i> , cv. Maradol Roja) mediante los métodos de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente	Papaya	CF	**	**	**	6%	4°Brix	**	5,82
Efecto de la deshidratación por secado con aire caliente y liofilización sobre las propiedades funcionales de la fibra dietaria y el contenido de vitamina C presentes en la guayaba pera	Guayaba	CF	**	Hubo DS de Vitamina C, se redujo	**	12,00%	**	**	**
Proximate composition of guava subjected to osmotic dehydration and convective drying.	Guayaba	CF	**	**	**	15%	**	**	**
Comparison on the antioxidant properties of fresh and convection oven-dried guava (<i>Psidium guajava L.</i>)	Guayaba	CF	**	**	No hubo reducción significativa ($p > 0,05$) en antioxidantes y fenoles	5%	**	**	**

Physical and chemical changes in guava raisin (<i>Psidium guajava</i> L.) produced by osmotic dehydration and drying convective	Guayaba	CF	No hubo DS	**	**	18%	48°Brix	0,46 ácido cítrico	3,72
Evaluation of total carotenoids and ascorbic acid in osmotic pretreated guavas during convective drying.	Guayaba	CF	**	Retención carotenoides 66 - 70%, ácido ascórbico 20 - 35%	**	11%	**	**	**
Influence of osmotic pretreatment on the convective drying of guava	Guayaba	CF	**	**	**	6%	**	**	**
Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades tecnico funcionales de la fibra dietaria presente en la guayaba (<i>Psidium guajava</i> L.) variedad pera	Guayaba	CF	**	**	Fibra Dietaria, no Hubo DS entre tratamientos (p<0,05)	12%	**	**	**
Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (<i>Psidium guajava</i> L.)	Guayaba	CF	**	Vitamina C Hubo DS respecto al fresco, y conservó más que a mayores T°	**	14%	6,3°Brix	**	3,6

Anexo 3. Fuente, título y país de procedencia de los artículos consultados según tipo de fruto y técnicas de secado

N°	Fuente	Título	Fruto	Técnica	País	Referencia
1	Science Direct	Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window	Mango	VR	Brasil	(Zotarelli, Carciofi, & Laurindo, 2015)
2	Science Direct Biblioteca digital Univalle	Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique	Mango	VR	Colombia	(Ochoa-Martínez, Quintero, Ayala, & Ortiz, 2012)
				CF		
3	Revistas Unal	Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine ‘Carabao’ var.) powder	Mango	VR	Estados Unidos	(Caparino et al., 2012)
4	Redalyc	Evaluación del método de secado por ventana de refractancia en pulpa de guayaba (<i>Psidium guajava</i>)	Guayaba	VR	Colombia	(Y. Leiton, 2012)
5	Repositorio UFSC	Influencia del espesor en secado de puré de papaya (<i>carica papaya l.</i>) por tecnología de ventana de refractancia	Papaya	VR	Colombia	(Ocoró Zamora & Ayala-Aponte, 2014)
6	Biblioteca digital Unal	Evaluación de la técnica de ventana de refractancia en el secado de puré de papaya (<i>carica papaya l.</i>)	Papaya	VR	Colombia	(Ocoro & Ayala, 2012)
7	Science Direct	Produção e caracterização de mamão papaia em pó por cast-tape drying	Papaya	VR	Brasil	(De Souza S, 2017)

8	Biblioteca digital Unal	Study of the extraction process of papain from the latex of the fruit of papaya (<i>Carica papaya</i> L.) cv. Maradol	Papaya	VR	Colombia	(Martinez H, 2011)
9	Science Direct	Rheological measurements for characterizing sticky point temperature of selected fruit powders: An experimental investigation	Mango	VR	Estados Unidos	(Caparino, Nindo, Tang, & Sablani, 2017)
10	Science Direct	Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying	Mango	VR	Brasil	(Zotarelli, da Silva, Durigon, Hubinger, & Laurindo, 2017)

Convección Forzada

11	Science Direct	Total phenolics and carotenoids of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques	Cáscara de Mango	CF	Canadá	(Sogi, Siddiq, & Dolan, 2015)
	Bioline		Semilla de Mango			
12	Science Direct	A comparison of kinetics of mango drying in open air, solar and forced air dryers	Mango	CF	Canadá	(Mercer, 2013)
13	Science Direct	A convective multi-flash drying process for producing dehydrated crispy fruits	Mango	CF	Brasil	(Zotarelli, Porciuncula, & Laurindo, 2012)
14	Research Gate	Foam mat drying of Tommy Atkins mango: Effects of air temperature and concentrations of soy lecithin and carboxymethylcellulose on phenolic composition, mangiferin, and antioxidant capacity	Mango	CF	Brasil	(Lobo et al., 2017)
15	Research Gate	Using drying treatments to stabilise mango peel and seed: Effect on antioxidant activity	Cáscara de mango	CF	España	(Dorta, Lobo, & González, 2012)
16	Science Direct	Water effective diffusion coefficient of mango slices at different maturity stages during air drying	Mango	CF	Venezuela	(Corzo, Bracho, & Alvarez, 2008)
17	Science Direct	Kinetics of moisture transfer during air drying of blanched and/or osmotically dehydrated mango	Mango	CF	Argentina	(Nieto, Castro, & Alzamora, 2001)

18	Research Gate	Effects of different drying treatments on the stability of carotenoids in Taiwanese mango (<i>Mangifera indica</i> L.)	Mango	CF	Taiwan	(Chen, Tai, & Chen, 2007)
19	Research Gate	Thin-layer Drying Kinetics of Raw Mango Slices	Mango	CF	India	(Goyal, Kingsly, Manikantan, & Ilyas, 2006)
20	Science Direct	Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying	Piña	CF	Irlanda	(Yan, Sousa-Gallagher, & Oliveira, 2008)
21	Research Gate	Numerical and experimental analysis of heat and moisture transfer during drying of Ataulfo mango	Mango	CF	México	(Villa-Corrales, Flores-Prieto, Xamán-Villaseñor, & García-Hernández, 2010)
22	Biblioteca digital Unal	Efecto de la velocidad y la temperatura del aire sobre la contracción del mango en el proceso de secado convectivo	Mango	CF	Brasil	(Váquiro H, Ferreira R, et al, 2012)
23	Biblioteca UPB	Efecto de Tratamientos de Ultrasonido en el Tiempo de Secado por Aire de Trozos de Piña y Mango	Mango	CF	Colombia	(Orrego C, Salgado N, Vásques E, 2014)
24	Scielo	Métodos combinados de secado para el escarchado de mango (<i>Mangifera indica</i>)	Mango	CF	Colombia	(Giraldo et al., 2005)
25	Research Gate	Influence of different drying techniques on drying parameters of mango	Mango	CF	Turquía	(Izli, Izli, & Taskin, 2017)
26	Science Direct	Effect of solar drying methods on total phenolic contents and antioxidant activity of commonly consumed fruits and vegetable (mango, banana, pineapple and tomato) in Tanzania	Mango	CF	Tanzania	(Richard, Bernadette, Trude, Lucy, & Bernard, 2015)
27	Research Gate	Vacuum impregnation and drying of calcium-fortified pineapple snacks	Piña	CF	Brasil	(de Lima et al., 2016)

28	Research Gate	Effect of acoustically assisted treatments on vitamins, antioxidant activity, organic acids and drying kinetics of pineapple	Piña	CF	Brasil	(Rodríguez, Gomes, Rodrigues, & Fernandes, 2017)
29	Science Direct	Effect of osmotic pre-treatment and infrared radiation on drying rate and color changes during drying of potato and pineapple	Piña	CF	Singapur	(Tan, Chua, Mujumdar, & Chou, 2001)
30	Research Gate	Modeling of combined far-infrared radiation and air drying of a ring shaped-pineapple with/without shrinkage	Piña	CF	Tailandia	(Ponkham, Meeso, Soponronnarit, & Siriamornpun, 2012)
31	Research Gate	Prediction and determination of ascorbic acid content during pineapple drying	Piña	CF	Argentina	(Ramallo L, Mascheroni L, 2004)
32	Science Direct	Influence of ultrasound pretreatment on convective drying on pineapple	Piña	CF	Brasil	(Corrêa, Rasia, García-Pérez, Mulet, & Cárcel, 2013)
33	Scielo	Comparative Analysis of Shrinkage of Pineapple during Convective Drying in Sun, Solar and Electric Tray Drying	Piña	CF	India	(Gwala & Padmavati, 2016)
34	Research Gate	Secagem de fatias de abacaxi in natura e pré-desidratadas por imersão-impregnação: cinética e avaliação de modelos	Piña	CF	Brasil	(Dionello et al., 2009)
35	Scielo	Air-drying of fresh and osmotically pre-treated pineapple slices: fixed air temperature versus fixed slice temperature drying kinetics	Piña	CF	Brasil	(J F Nicoleti, Telis-Romero, & Telis, 2001)
36	Science Direct	Empirical modeling on hot air drying of fresh and pretrated pineapples	Piña	CF	Tailandia	(Tanongkankit, 2016)
37	Science Direct	Influence of air drying properties on non-enzymatic browning, major bio-active compounds and antioxidant capacity of osmotically pretreated papaya	Papaya	CF	Alemania	(Udomkun, Nagle, et al., 2015)

38	Research Gate	Sorption behaviour of papayas as affected by compositional and structural alterations from osmotic pretreatment and drying	Papaya	CF	Alemania	(Udomkun, Argyropoulos, Nagle, Mahayothee, & Müller, 2015)
39	Science Direct	Effect of Osmotic Pretreatment on Hot Air Drying Kinetics and Quality of Chilean Papaya (<i>Carica pubescens</i>)	Papaya	CF	Chile	(Lemus-Mondaca et al., 2009)
40	Indian Journals	Ascorbic acid degradation of papaya during drying: Effect of process conditions and glass transition phenomenon	Papaya	CF	Brasil	(Kurozawa, Terng, Hubinger, & Park, 2014)
41	Science Direct	Optimizing Process Parameters for Foam Mat Drying of Papaya Pulp (<i>Carica Papaa L.</i>)	Papaya	CF	India	(Syed Mazar A. et al, 2015)
42	Research Gate	Drying of Papaya Seeds (<i>Carica papaya L.</i>)	Semillas de papaya con mucílago	CF	Brasil	(Oliveira A, Mendoza S, et al, 2014)
43	Research Gate	Shrinkage during convective drying of papaya (<i>Carica papaya L.</i>)	Papaya	CF	México	(Rodríguez-ramirez, Ramirez-lavariaga, Lilia, & Sosa, 2016)
44	Scielo	Modelado de la Cinética de Secado de la Papaya Chilena (<i>Vasconcellea pubescens</i>)	Papaya	CF	Chile	(Vega & Lemus, 2006)
45	Scielo	Cinética de secado de fruta bomba (<i>Carica papaya L.</i> , cv. Maradol Roja) mediante los métodos de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente	Papaya	CF	Cuba	(Valdés, Becerá, Pereira, Beyra, & Valdés, 2015)
46	Scielo	Efecto de la deshidratación por secado con aire caliente y liofilización sobre las propiedades funcionales de la fibra dietaria y el contenido de vitamina C presentes en la guayaba pera	Guayaba	CF	Colombia	(Serpa A. Castrillón D., 2013)
47	Research Gate	Proximate composition of guava subjected to osmotic dehydration and convective drying.	Guayaba	CF	Brasil	(Queiroz et al., 2009)

48	Research Gate	Comparison on the antioxidant properties of fresh and convection oven-dried guava (<i>Psidium guajava</i> L.)	Guayaba	CF	Malasya	(Siow & Hui, 2013)
49	Scielo	Physical and chemical changes in guava raisin (<i>Psidium guajava</i> L.) produced by osmotic dehydration and drying convective	Guayaba	CF	Brasil	(de Castro et al., 2016)
50	Research Gate	Evaluation of total carotenoids and ascorbic acid in osmotic pretreated guavas during convective drying.	Guayaba	CF	Italia	(Sanjinez-Argandoña, E. J, 2005)
51	Scielo	Influence of osmotic pretreatment on the convective drying of guava	Guayaba	CF	Cuba	(Cabrera, Sanjuán, Panadés, & Cruz, 2016)
52	Biblioteca UPB	Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades tecnico funcionales de la fibra dietaría presente en la guayaba (<i>Psidium guajava</i> L.) variedad pera	Guayaba	CF	Colombia	(Vásquez D, Hincapié G, 2012)
53	Science Direct	Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (<i>Psidium guajava</i> L.)	Guayaba	CF	Colombia	(Ordóñez-Santos, Portilla, & Rodríguez, 2013)