



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Trabajo de Tesis de
Maestría en Tecnología e Higiene de los Alimentos
**DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE UN
SNACK SALUDABLE DE TOMATE**

Tesista: Ing. Jorge Maynor Vargas Zúniga

Directores: Dr. Martín Torrez Irigoyen

 Dra. Silvana María Demarchi

2022

El presente trabajo de Tesis fue realizado en el Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA), bajo la dirección del Dr. Martín Torrez Irigoyen y la Dra. Silvana María Demarchi. El mismo se pone a consideración de las autoridades de la Universidad Nacional de La Plata, con el objeto de acceder al grado académico de Magister en Tecnología e Higiene de Alimentos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Plata.

Ing. Jorge Maynor Vargas Zúniga

Dr. Martín Torrez Irigoyen

Dra. Silvana María Demarchi

DEDICATORIA

A mis padres, quienes forman la estrella que guía mi vida.

A mis hermanas, mis compañeras de viaje.

A mi gran familia: tíos, tías, primos y primas, fuente inagotable de amor y alegría.

A mi pueblo: La Esperanza, mi hogar.

AGRADECIMIENTOS

- A Martín y Silvana por su guía, su apoyo y su permanente disposición de ayudarme. Además de su profesionalidad, su enorme calidad humana me brindó mucha confianza. Mi eterno agradecimiento para ambos.
- A todo el equipo de la Maestría en Tecnología e Higiene de Alimentos, a Leo por su valiosa ayuda y diligencia y a todos los docentes por sus invaluable enseñanzas.
- Al CIDCA por brindarme el espacio, el equipo, los materiales y todo lo necesario para el desarrollo de la presente tesis.
- A mi amiga Angela por su valiosa ayuda dentro del CIDCA, por las tardes de estudio y preguntas, por su apoyo y amistad.
- A Mirta y Andrés por recibirme en su casa y hacerme sentir en familia durante estos años. Mi cariño, siempre.
- A mis amistades: Milagro, Giselle, Luis Y., Julio, Victoria H., Jency M., Juan C., Ethling, Luis S., Mario M., Sara, José C., Lineth, Cynthia, David y Laura porque a lo largo de estos años me han hecho sentir su apoyo y me han ayudado de distintas formas.
- A mi familia por su amor y apoyo incondicional.

LIMITACIONES Y DIFICULTADES

La presente tesis fue desarrollada en el contexto de la pandemia de COVID-19 y el tiempo disponible para la realización del trabajo experimental fue recortado por lo que algunas determinaciones inicialmente planificadas fueron omitidas. Se efectuaron todas las determinaciones que se consideraron fundamentales y se complementaron con una rigurosa investigación bibliográfica y con perspectivas de trabajo futuro.

Índice

CAPÍTULO 1	9
INTRODUCCIÓN	9
1.1 Origen y taxonomía del tomate	10
1.2 Producción mundial	11
1.3 Producción de tomate en Argentina	13
1.3.1 Producción de tomate para consumo en fresco	16
1.3.2 Producción de tomate para industria	17
1.4 Cinturón Hortícola Platense	18
1.5 Productos deshidratados como alternativa de comercialización	18
1.6 Producción de snacks mediante procesos de secado	19
1.7 Objetivos	21
1.7.1 Objetivo General	21
1.7.2 Objetivos específicos	21
1.8 Referencias bibliográficas	21
CAPÍTULO 2	24
CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	24
2.1 Introducción	25
2.2 Materiales y métodos	26
2.2.1 Materia prima	26
2.2.2 Metodología	27
2.2.2.1 Determinación de humedad	27
2.2.2.2 Determinación de cenizas	28
2.2.2.3 Determinación de actividad acuosa	28
2.2.2.4 Determinación de sólidos solubles	29
2.2.2.5 Determinación de macronutrientes	29
2.2.2.5.1 Proteínas	29
2.2.2.5.2 Lípidos	30
2.2.2.5.3 Carbohidratos	30
2.3 Resultados y discusión	31
2.4 Conclusiones	32
2.5 Referencias bibliográficas	33
CAPÍTULO 3	35

SECADO DE TOMATE PERITA	35
3.1 Introducción	36
3.1.1 Secado: definición y clasificaciones	36
3.1.2 Fundamentos del proceso de secado	37
3.1.3 Isotermas de sorción	40
3.1.4 Modelado matemático.....	44
3.1.4.1 Modelo difusivo	45
3.1.4.2 Modelo de Page	45
3.1.5 Deshidratación de tomate.....	46
3.2 Materiales y métodos.....	48
3.2.1 Materia prima.....	48
3.2.2 Secado con aire caliente	49
3.2.3 Diagrama de proceso.....	52
3.2.4 Curvas de secado e historias térmicas.....	53
3.2.5 Isoterma de desorción.....	53
3.2.6 Modelado matemático.....	53
3.2.7 Determinación de la funcionalidad de D_{eff} con la temperatura.....	55
3.3 Resultados y discusión.....	56
3.3.1 Curvas de secado	56
3.3.2 Historias térmicas.....	58
3.3.3 Isoterma de desorción.....	60
3.3.4 Modelado matemático.....	62
3.3.4.1 Modelo difusivo	62
3.3.4.2 Modelo de Page	65
3.4 Conclusiones	67
3.5 Referencias bibliográficas.....	68
CAPÍTULO 4.....	73
DETERMINACIÓN DE LICOPENO	73
4.1 Introducción	74
4.2 Materiales y métodos.....	76
4.2.1 Materiales	76
4.2.2 Metodología.....	76
4.2.2.1 Extracción de licopeno y medición de absorbancia.....	76

4.2.2.2	Medición de humedad.....	78
4.2.2.3	Cálculo de resultados.....	78
4.2.2.4	Análisis de resultados.....	78
4.3	Resultados y discusión.....	78
4.4	Conclusiones.....	81
4.5	Referencias bibliográficas.....	82
CAPÍTULO 5	85
ANÁLISIS SENSORIAL	85
5.1	Introducción.....	86
5.2	Materiales y métodos.....	88
5.2.1	Materiales:.....	88
5.2.2	Metodología.....	89
5.2.2.1	Ensayo descriptivo.....	89
5.2.2.2	Ensayo de aceptabilidad y cuestionario CATA.....	89
5.2.2.3	Análisis de resultados.....	92
5.3	Resultados y discusión.....	92
5.3.1	Ensayo descriptivo.....	92
5.3.2	Ensayo de aceptabilidad.....	93
5.3.3	Cuestionario CATA.....	94
5.4	Conclusiones.....	95
5.5	Referencias bibliográficas.....	96
CONCLUSION GENERAL	98
ANEXOS	100
Anexo 1:	Planilla de búsqueda de descriptores.....	101
Anexo 2:	Planilla del ensayo de aceptabilidad con cuestionario CATA.....	103

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCION

1.1 Origen y taxonomía del tomate

El tomate es un fruto originario de América consumido a nivel mundial ya sea como fruto fresco, en ensaladas, como ingrediente en muchas recetas o en la forma de varios productos procesados como salsas, puré, triturados, tomates secos, tomates enlatados, jugos y sopas. Proviene de una planta herbácea clasificada en el género *Solanum* y nombrada específicamente como *Solanum lycopersicum*. Las especies originarias del tomate cultivado son nativas de Sudamérica, de regiones situadas a lo largo de la cordillera de los Andes, desde Ecuador, pasando por Perú, hasta el norte de Chile e incluyendo las islas Galápagos (Peralta y Spooner, 2006).



Figura 1.1: Plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*).
Fuente: Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de plagas
<https://www.sinavimo.gob.ar/>

Desde su introducción en Europa en el siglo XVI la taxonomía del tomate ha sido fluctuante. En su obra *Species Plantarum* de 1753, Linnaeus incluye al tomate dentro del

género *Solanum* y describe al tomate cultivado como *S. lycopersicum* y a una especie salvaje de Perú como *S. peruvianum*. Un año más tarde en la cuarta edición de *El diccionario de los jardineros*, Philip Miller describió al tomate dentro del género *Lycopersicon*. Posteriormente en 1768, Miller nombraría tres especies de tomate, usando un sistema binomial, como *L. esculentum*, *L. peruvianum*, *L. pimpinellifolium*. Tradicionalmente muchos taxonomistas han seguido la circunscripción de Miller e incluyen al tomate dentro del género *Lycopersicon* pero hoy en día hay evidencia proveniente de estudios filogenéticos basados en características moleculares y morfológicas que muestra que el tomate se ubica, sin ambigüedad, dentro del género *Solanum* (Labate y col., 2007) por lo que su clasificación como *S. lycopersicum* se encuentra ampliamente aceptada.

1.2 Producción mundial

A nivel mundial la producción de tomate fresco ha aumentado continuamente durante la última década hasta alcanzar una producción anual de 180.766.329 toneladas en el 2019 (Figura 1.2), abarcando un área cosechada de 5.030.545 hectáreas (FAO, 2019).

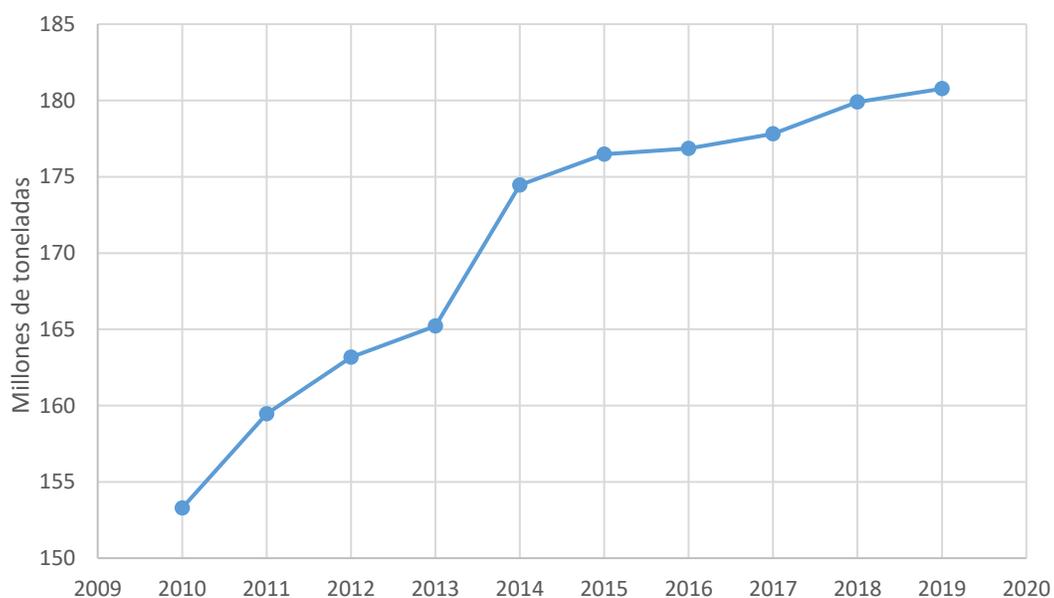


Figura 1.2: Producción mundial entre los años 2010 y 2019. Fuente: FAO, 2019

Los principales países productores son: China, India, Turquía, Estados Unidos, Egipto, Italia, Irán, España, México y Brasil (Figura 1.3). A nivel continental el mayor productor es Asia, seguido por América, Europa y África (Figura 1.4).

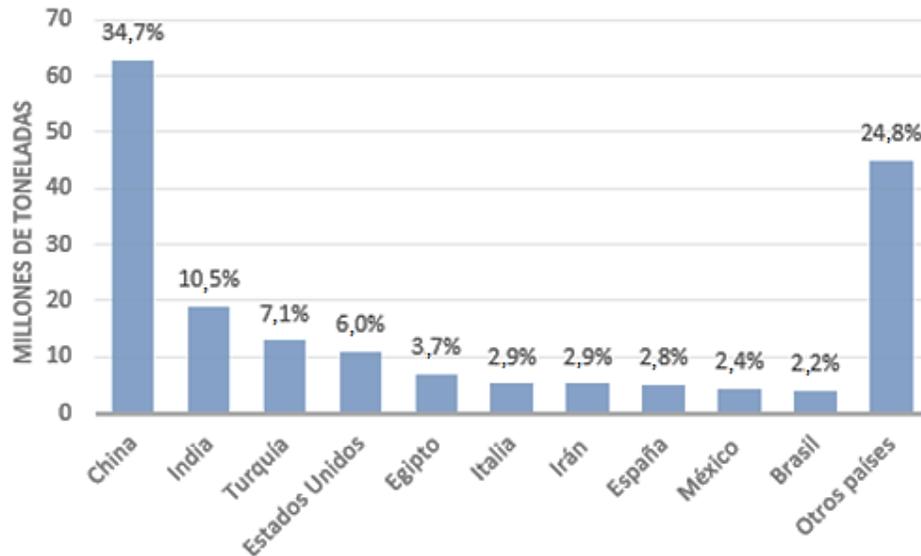


Figura 1.3: Principales países productores. Fuente: FAO, 2019

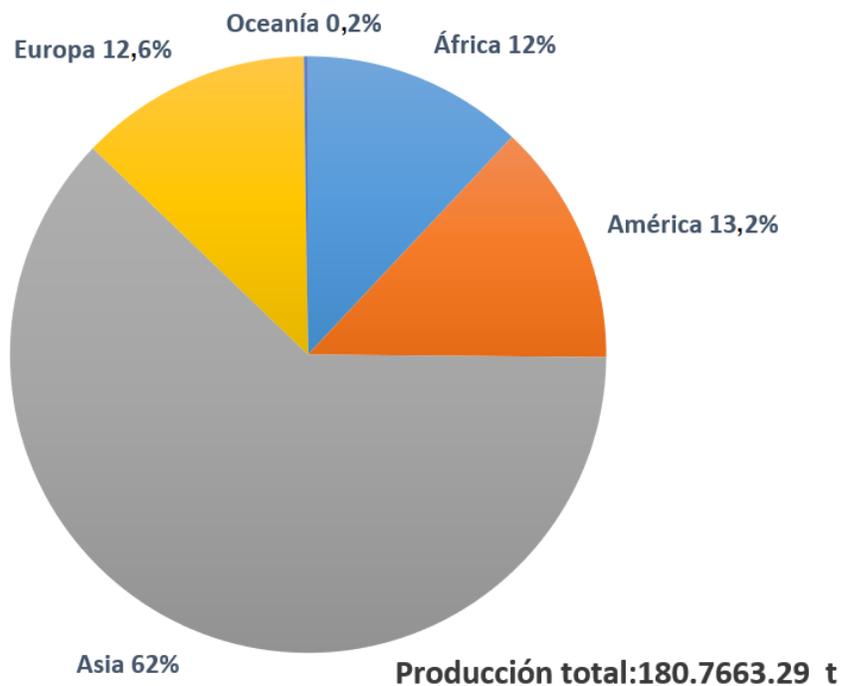


Figura 1.4: Distribución de la producción a nivel mundial. Fuente: FAO, 2019

1.3 Producción de tomate en Argentina

Argentina posee condiciones agrometeorológicas propicias para el desarrollo del cultivo de tomate en casi todo el país, incluyendo Rio Negro pero exceptuando las demás provincias de la Patagonia cuyos períodos libres de heladas son muy cortos y esto impide su normal desarrollo. Las principales zonas productoras de tomate son las provincias de Mendoza y San Juan (región cuyana) Salta y Jujuy (región NOA), Corrientes y Formosa (NEA), Rio Negro, y Buenos Aires, provincia en la cual se destacan los cinturones hortícolas bonaerense y La Plata, Mar del Plata y Sur de Buenos Aires, tal como se aprecia en la Figura 1.5 (Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, 2020).



Figura 1.5: Principales zonas productoras de tomate en Argentina. Fuente: Dirección de Producción Agrícola en base a datos de MCBA, SENASA y Asociación TOMATE 2000

De acuerdo con la Dirección Nacional de Agricultura (2020) la producción promedio anual de tomate argentino se ubica en torno a 1.100.000 toneladas. Entre el 60% y 70% de esa producción se destina a mercado para consumo en fresco y entre el 30% y 40% se destina para la industria.

En el cultivo de tomate se pueden distinguir tres sistemas productivos: a campo, semiforzado e invernadero. En la producción *a campo*, el cultivo se lleva a cabo sin protección o manejo con un tendido, utilizándose principalmente en las provincias de Mendoza, Salta, Santiago del Estero, Chaco, Buenos Aires y Río Negro. En el caso del *semiforzado*, se utilizan almácigos que se llevan a cabo en túneles plásticos evitando de esta manera la incidencia de factores externos que dificulten el crecimiento, además de obtener cierta precocidad. Una vez que la planta emerge los plantines se pueden trasplantar. Los *invernaderos*, requieren de instalaciones con una cobertura que protege los cultivos, favoreciendo el control y manejo de las variables que inciden en el mismo, obteniendo mayores rendimientos, calidad, e ingreso a los mercados en contra estación o primicia para lograr mejores precios. Se destacan tres zonas de producción en invernaderos: NOA, NEA y Buenos Aires (principalmente en el cinturón hortícola de Buenos Aires y La Plata y, en menor medida, en la zona hortícola del departamento de General Pueyrredón).



Figura 1.6: Cultivo de tomate a campo.

Fuente: <https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-tomate/>



Figura 1.7: Cultivo de tomate en invernadero.

Fuente: <https://www.infocampo.com.ar/protegiendo-los-cultivos-bajo-invernadero/>



Figura 1.8: Almacigo de tomate listo para ser trasplantado, sistema de cultivo semiforzado.
Fuente: Manual técnico del cultivo del tomate, Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, Costa Rica, 2016.

1.3.1 Producción de tomate para consumo en fresco

De acuerdo con la FAO, en el 2019 Sudamérica tuvo una producción anual de tomate fresco de 6.791.848 toneladas y Argentina una producción anual de 658.106 toneladas representando un 9,7% del total de Sudamérica y un 0,36% del total de la producción mundial. El tomate es una de las hortalizas más importantes en Argentina, su consumo ronda los 16 kg/persona/año y dentro del rubro hortícola sólo es superado por la papa. Las distintas regiones productoras de tomate en Argentina aseguran un aprovisionamiento continuo del mercado doméstico en fresco, pudiendo recurrirse a importaciones desde países limítrofes en algunos momentos del año o ante situaciones climáticas desfavorables. Argentina exporta pequeñas cantidades de tomate para consumo en fresco, siendo Paraguay el destino principal (Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, 2020). Los principales tipos comerciales de tomate para consumo en fresco en Argentina son: Redondo, Perita y Cherry (INTA, 2014). El tipo comercial Redondo es aquel cuyo diámetro transversal es igual o mayor al eje longitudinal, abarca una gran diversidad de variedades e híbridos incluyendo los platenses y los denominados larga vida. Los cultivares pertenecientes al tipo comercial Perita son aquellos cuyo eje longitudinal es mayor que el diámetro transversal. Los cultivares tipo Cherry son tomates pequeños, de menos de 5 cm de diámetro y generalmente se desarrollan en invernadero, en cuanto a la forma los frutos pueden ser tipo pera o redondo y se llaman Cherry cuando el tamaño de los frutos es menor de 3 cm de diámetro y Cóctel si los frutos están comprendidos entre 3 y 5 cm de diámetro.



Figura 1.9: De izquierda a derecha, tomate redondo, tomate cherry y tomate perita. Fuente: Boletín de frutas y hortalizas, Corporación del mercado central de Buenos Aires, 2018.

1.3.2 Producción de tomate para industria

La temporada de cosecha del tomate para industria comienza en diciembre y finaliza en mayo. Se trata de un cultivo mecanizado casi en su totalidad, se desarrolla a campo bajo riego y las variedades utilizadas corresponden al tipo perita (menor tamaño que las variedades destinadas a consumo en fresco), de crecimiento determinado para obtener cultivos uniformes que faciliten la cosecha mecánica.

Según datos de la Asociación Tomate 2000 la producción de tomates con destino industrial en Argentina en la temporada 2019-2020 alcanzó las 454.000 toneladas en un área cultivada de 6.135 hectáreas. A pesar de que esta producción es mayor que la de campañas anteriores, Argentina no logra cubrir la demanda local que se estima en 650.000 toneladas, generando un déficit de 196.000 toneladas. De acuerdo con la Dirección Nacional de Agricultura (2020) uno de los principales proveedores de materia prima para cubrir esta demanda es Chile participando con aproximadamente el 90 % del total importado, seguido por Italia y Brasil.



Figura 1.10: Cosecha mecanizada de tomate para industria.

Fuente: <https://www.agritotal.com/nota/40453-tomate-industrial-preven-aumento-de-la-superficie-cultivada-en-mendoza/>

1.4 Cinturón Hortícola Platense

El Cinturón Hortícola Platense es una franja productiva ubicada en el periurbano de la ciudad de La Plata, Buenos Aires, Argentina. Comprende el área de mayor envergadura del Cinturón Hortícola Bonaerense, el cual se extiende desde Campana hasta La Plata, abarcando los partidos de Florencio Varela, Berazategui, Almirante Brown, Esteban Echeverría, La Matanza, Merlo, Moreno, Cañuelas, General Rodríguez, Luján, Marcos Paz, Pilar y Escobar. De acuerdo al Gobierno de la Provincia de Buenos Aires en el 2006, la producción en el Cinturón Hortícola Platense es responsable de más de la mitad de la superficie implantada en el Cinturón Verde de Buenos Aires y participa con casi el 60% de la producción regional, abasteciendo de frutas y hortalizas frescas a la región circundante conocida como Gran La Plata, a la Ciudad de Buenos Aires y conurbano bonaerense, principales centros de consumo que concentran casi un tercio de la población argentina. El Cinturón Hortícola Platense abarca aproximadamente 7.000 ha y concentra una de las mayores áreas de superficie cubierta por invernaderos (Martínez y col., 2021). Los principales productos que se obtienen en la zona son: alcaucil (*Cynara scolymus*), tomate (*Solanum lycopersicum*), pimiento (*Capsicum annuum L.*), apio (*Apium graveolens*), lechuga (*Lactuca sativa L.*) y otras verduras de hoja. De acuerdo con el censo hortícola de la provincia de Buenos Aires del año 2005 (Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, 2006) la región de La Plata produce 29.971 toneladas de tomate, de las cuales el 83 % se obtiene en cultivo bajo cubierta. Asimismo, es de destacar que aporta el 62 % del total de tomate que se produce en la provincia. El destino del tomate es para consumo en fresco utilizándose mayoritariamente como canal de comercialización primaria los mercados concentradores en un 74 %, siguiendo en orden de importancia los supermercados e hipermercados con un 15 %, los acopiadores con un 9 % y el resto en verdulerías y a consumidor final (Hang y col., 2007).

1.5 Productos deshidratados como alternativa de comercialización

La comercialización en fresco puede conllevar pérdidas importantes debido al carácter altamente perecedero del tomate, saturación del mercado en épocas de alta producción, defectos que no permiten cumplir con los estándares de calidad, golpes, entre otros

factores. De acuerdo a estimaciones realizadas por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca en el año 2015, en Argentina se pierden y desperdician cerca del 42% del total de hortalizas producidas (Rivas y col., 2015) y las mayores pérdidas se concentran en las etapas de cosecha, manejo post-cosecha, transporte y almacenamiento. Para reducir el porcentaje de pérdidas y desperdicios en la cadena de suministro del tomate, el excedente del mercado en fresco puede industrializarse, por ejemplo, generando productos deshidratados de calidad que constituyen una alternativa de comercialización con agregado de valor. La deshidratación del tomate se ha utilizado por muchos años como medio para alargar su vida útil (Akanbi y col., 2006) y el método más utilizado es la deshidratación por aire caliente debido a menores costos operativos y de inversión. Es conocido que el contenido de compuestos bioactivos como Vitamina C, licopeno, α y β -caroteno, presentes en el tomate, puede alterarse (disminuir o aumentar) a causa del procesamiento (Kaur y col., 2020). Ya que estos compuestos poseen asociados múltiples beneficios para la salud (Burton-Freeman y Reimers, 2011) resultaría positivo optimizar las condiciones operativas de los procesos con base en el contenido de compuestos bioactivos antes y después del procesamiento y a parámetros organolépticos.

1.6 Producción de snacks mediante procesos de secado

Diversos tipos de vegetales son utilizados para producir *snacks* por medio de diferentes métodos de deshidratación y su importancia comercial es cada vez mayor para la industria alimentaria ya que son percibidos como saludables para el consumo humano (Huang y Zhang, 2012). *Snack* es una palabra utilizada en países de habla inglesa para referirse a productos que son consumidos fuera de las tradicionales tres comidas diarias (Forbes y col., 2015). Esto se ha trasladado a otros países, incluyendo Argentina, donde la palabra es usada frecuentemente para describir cualquier alimento, dulce o salado, de consumo rápido (Lotufo, 2019). Ampliando la definición, se puede decir que los snacks son alimentos en porciones pequeñas, individuales, de fácil manipulación y consumo, que no requieren preparación previa y que están destinados a satisfacer el hambre entre las comidas formales (Rodríguez, 2016).

Debido a que los snacks más populares en muchos países son productos altos en sodio, azúcares o grasas saturadas como chips, dulces, postres y bebidas azucaradas; se les ha asociado a pobres hábitos alimenticios y a promover el sobrepeso y la obesidad (Hess y col., 2016). Estudios epidemiológicos sugieren que el impacto del consumo de snacks en la salud se debe principalmente a la selección del tipo snack y no a la frecuencia, hora del día o contenido calórico (Miller y col., 2013). La selección de snacks saludables se ha asociado a una mayor ingesta de micronutrientes y a una mejora en la calidad de la dieta (Hess y Slavin, 2017). En relación con la salud, snacks naturales, bajos en calorías, bajos en grasas, bajos en sodio, ricos en fibra y vitaminas o que ofrezcan un beneficio para la salud, poseen una enorme demanda (Dueik y Bouchon, 2011). Debido a que el tomate es un fruto con alta producción en Argentina y que además posee múltiples componentes con beneficios asociados a la salud, podría constituir la materia prima en la producción de un snack saludable. El tomate perita al poseer una longitud mayor que su diámetro facilita las operaciones de cortado y permite obtener rodajas de tamaños similares a partir del mismo fruto, por lo que puede ser una materia prima adecuada para producir rodajas deshidratadas. En el Cinturón Hortícola Platense la producción de tomate perita es de aproximadamente 15,6% en relación a la producción de otros tipos de tomate y de aproximadamente 25,1% en relación a la producción de tomate redondo (Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, 2006). En el secado tradicional de tomate es habitual el agregado de aditivos como metabisulfito de sodio como agente conservante y sal para favorecer la deshidratación y dar características organolépticas deseables (Mujica, 2011), sin embargo, en aras de producir un snack saludable se desea limitar el agregado de sal y el uso de aditivos. La información disponible en la bibliografía sobre snacks de tomate es limitada por lo que en el presente trabajo de tesis se proponen objetivos que permitan alcanzar un snack saludable de tomate y un aporte de conocimiento en el área.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

El objetivo de la presente tesis es desarrollar un snack saludable a partir del secado de rodajas de tomate perita, ofreciendo una alternativa de comercialización y un aporte integral de conocimiento sistemático aplicable a la cadena de valor del tomate en el Cinturón Hortícola Platense (CHP).

1.7.2 Objetivos específicos

- Determinar la composición y calidad nutricional del tomate perita fresco proveniente del Cinturón Hortícola Platense.
- Estudiar las características de secado de rodajas de tomate perita de 5 mm de espesor, analizando el efecto de la temperatura en la cinética de secado y evaluando la aplicación de modelos matemáticos.
- Estimar la estabilidad de los productos del proceso de secado mediante el parámetro de actividad acuosa (a_w).
- Determinar el efecto de la temperatura de secado en el contenido del antioxidante licopeno, compuesto naturalmente presente en el tomate.
- Evaluar la aceptabilidad sensorial, global y por atributos, de un snack saludable de rodajas de tomate perita deshidratadas.

1.8 Referencias bibliográficas

Akanbi, C. T., Adeyemi, R. S., & Ojo, A. (2006). Drying characteristics and sorption isotherm of tomato slices. *Journal of Food Engineering*, 73(2), 157–163. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.015>

Asociación Tomate 2000. (2020). *Programa para el aumento de la competitividad de la industria del tomate. Informe progresos 2019-2020.*

- Burton-Freeman, B., & Reimers, K. (2011). Tomato Consumption and Health: Emerging Benefits. *American Journal of Lifestyle Medicine*, 5(2), 182–191. <https://doi.org/10.1177/1559827610387488>
- Dueik, V., & Bouchon, P. (2011). Development of healthy low-fat snacks: Understanding the mechanisms of quality changes during atmospheric and vacuum frying. *Food Reviews International*, 27(4), 408–432. <https://doi.org/10.1080/87559129.2011.563638>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2019). *FAOSTAT*. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Forbes, S. L., Kahiya, E., & Balderstone, C. (2015). Analysis of Snack Food Purchasing and Consumption Behavior. *Journal of Food Products Marketing*, 1(00), 1–25. <https://doi.org/10.1080/10454446.2014.949992>
- Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. (2006). Censo hortiflorícola de la Provincia de Buenos Aires. In *CHFBA 2005*.
- Hang, G., Seibane, C., Larrañaga, G., Kebat, C., Bravo, M. L., Ferraris, G., Otaño, M., & Blanco, V. (2007). Comercialización y consumo de tomate en La Plata, Argentina. Un enfoque mediante el análisis de la cadena agroalimentaria. *Bioagro*, 19(2), 99–107. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85719206>
- Hess, J. M., Jonnalagadda, S. S., & Slavin, J. L. (2016). What is a snack, why do we snack, and how can we choose better snacks? A review of the definitions of snacking, motivations to snack, contributions to dietary intake, and recommendations for improvement. *Advances in Nutrition*, 7(3), 466–475. <https://doi.org/10.3945/an.115.009571>
- Hess, J. M., & Slavin, J. L. (2017). Healthy Snacks: Using Nutrient Profiling to Evaluate the Nutrient-Density of Common Snacks in the United States. *Journal of Food Science*, 82(9), 2213–2220. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13819>
- Huang, L. L., & Zhang, M. (2012). Trends in Development of Dried Vegetable Products as Snacks. *Drying Technology*, 30(5), 448–461. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.644648>
- Kaur, R., Kaur, K., & Ahluwalia, P. (2020). Effect of drying temperatures and storage on chemical and bioactive attributes of dried tomato and sweet pepper. *LWT - Food Science and Technology*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108604>
- Labate, J. A., Grandillo, S., Fulton, T., Muños, S., Caicedo, A. L., Peralta, I., Ji, Y., Chetelat, R. T., Scott, J. W., Gonzalo, M. J., Francis, D., Yang, W., van der Knaap, E., Baldo, A. M., Smith-white, B., Mueller, L. A., Prince, J. P., Blanchard, N. E., Storey, D. B., ... Causse, M. (2007). Tomato. In *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants* (Vol. 5, pp. 1–125).
- Lotufo, A. M. (2019). *Desarrollo y caracterización fisicoquímica y sensorial de productos alimenticios elaborados con tubérculos andinos*. Universidad Nacional de Salta.
- Martínez, S. B., Carbone, A. V., & Garbi, M. (2021). Producción hortícola periurbana. In

- S. B. Martínez, A. V. Carbone, & M. Garbi (Eds.), *Producción hortícola periurbana*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
<https://doi.org/10.35537/10915/120969>
- Mercado Central de Buenos Aires, INTA, & Ministerio de Agricultura, G. y P. (2014). *Ficha técnica, Tomate*.
- Miller, R., Benelam, B., Stanner, S. A., & Buttriss, J. L. (2013). Is snacking good or bad for health: An overview. *Nutrition Bulletin*, 38(3), 302–322.
<https://doi.org/10.1111/nbu.12042>
- Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. (2020). *La Producción de Tomate en Argentina*. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/produccion-tomate-argentina-diciembre-2020.pdf>
- Mujica, M. F. (2011). Elaboración de tomate seco en la provincia de San Juan, Argentina. *INTA*. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/7042>
- Peralta, I. E., & Spooner, D. M. (2006). History, origin and early cultivation of tomato (solanaceae). In *Genetic Improvement of Solanaceous Crops Volume 2: Tomato* (pp. 1–24). <https://doi.org/10.1201/b10744-2>
- Rivas, A., Blengino, C., Alvarez, B., & Franco, D. (2015). Pérdidas y desperdicio Alimentario (PDA) en Argentina. *Alimentos Argentinos*, 65, 4–11.
- Rodriguez, A. C. (2016). *Desarrollo y caracterización de un alimento tipo snack por secado de geles mixtos de proteínas de lactosuero y miel* [Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/55877>

CAPÍTULO 2

CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

2.1 Introducción

El tomate posee una composición nutricional y fitoquímica única. Está compuesto principalmente por agua y su macronutriente mayoritario son los hidratos de carbono. De acuerdo con datos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2018), 100 gramos de tomate fresco están constituidos aproximadamente por 94,5 g de agua, 3,89 g de carbohidratos, 0,88 g de proteínas, 0,2 g de lípidos y 0,5 g de cenizas. Dentro de los minerales presentes destaca el contenido de Potasio (237 mg/100 g), fósforo (24 mg/ 100 g), magnesio (11 mg/ 100 g) y calcio (10 mg/ 100 g). Dentro de los hidratos de carbono se encuentran: la glucosa (1,25 g/100 g), la fructosa (1,37 g/100 g) y la fibra dietaria (1,2 g/ 100 g). Otro componente destacable es la vitamina C (13,7 mg/ 100 g).

Las concentraciones relativas de los constituyentes químicos del tomate son importantes para determinar la calidad respecto al color, textura, apariencia, valor nutricional, sabor y aroma (Salunkhe y col., 1974). El sabor y aroma característicos del tomate están determinados por la presencia de azúcares reductores: glucosa y fructosa, ácidos orgánicos libres (principalmente ácido cítrico) y compuestos volátiles, entre los que se destacan: cis-3-hexenal, trans-2-hexenal, 2-isobutiltiazol, hexanal, cis-3-hexen-1-ol, 2,4-decadienal, 6-metil-5-hepten-2-ona (Petro-Turza, 1986). Se ha reportado que las mejores características organolépticas del tomate se correlacionan con un bajo nivel de acidez titulable y un elevado nivel de azúcares totales del fruto (Duma y col., 2015). El intenso color rojo del tomate se debe a la presencia de compuestos carotenoides sintetizados durante el proceso de maduración (Guil-Guerrero y Reboloso-Fuentes, 2009). Entre estos compuestos destacan principalmente: licopeno (2570 µg/100g), α -caroteno (101 µg/100 g) y β -caroteno (449 µg/100 g) (USDA, 2018). El tomate también contiene compuestos fenólicos; flavonoides (quercetina y derivados del kaempferol incluyendo rutina y naringenina-chalcona) y derivados del ácido hidroxicinámico (ácido cafeico, ferúlico y clorogénico) (Gautier y col., 2008).

La composición del tomate puede variar significativamente dependiendo de la variedad, del estado de madurez y de las condiciones de crecimiento y cultivo (Duma y col., 2015), por lo que resulta importante conocer la composición específica del tomate del Cinturón

Hortícola Platense. Con base en lo anterior se plantean los siguientes objetivos para el presente capítulo:

- **Objetivo general**

Caracterizar el tomate perita que se utilizará como materia prima en la generación de un snack saludable.

- **Objetivos específicos**

- Determinar la composición porcentual de humedad, de macronutrientes (carbohidratos, proteínas y lípidos) y de cenizas, presentes en tomates perita adquiridos en La Ciudad de La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Medir en la materia prima los parámetros: actividad acuosa y sólidos solubles, ya que son importantes para determinar la estabilidad microbiológica y la calidad del flavor respectivamente.

2.2 Materiales y métodos

2.2.1 Materia prima

Tomates frescos de la variedad perita fueron adquiridos en el mes de marzo, en un comercio local en la ciudad de La Plata, Buenos Aires, Argentina. Se seleccionaron visualmente frutos maduros, de color, tamaño y firmeza similares, sin defectos en su superficie, con un diámetro aproximado de 5 cm y una longitud aproximada de 8 cm.



Figura 2.1: Tomates perita frescos. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

2.2.2 Metodología

2.2.2.1 Determinación de humedad

El contenido de humedad de la materia prima se determinó por diferencia de peso en estufa a 135°C durante 3 h, según el método descrito por la AOAC (método 984.25, AOAC, 1998). Para este ensayo se utilizó una estufa de convección forzada Thermo Scientific Heratherm (Mod. OMS60) y una balanza analítica OHAUS (Mod. PA214) con capacidad de 210 g y una precisión de 0,0001 g. La medición se realizó por triplicado, sobre muestras (10) tomadas al azar del lote inicial de tomates.



(a)



(b)

Figura 2.2: (a) Estufa Thermo Scientific Heratherm (Mod. OMS60); (b) Balanza analítica OHAUS (Mod. PA214)

El contenido de humedad se calculó de la siguiente manera:

$$\%Hbh = \frac{Mi - Mf}{Mi} \times 100$$

$$Hbs = \frac{\%Hbh}{100 - \%Hbh}$$

En donde: $\%Hbh$ es el porcentaje de humedad en base húmeda, Hbs es el contenido de humedad en base seca, Mi es la masa inicial de la muestra en gramos y Mf es la masa final de la muestra en gramos.

2.2.2.2 Determinación de cenizas

Se determinó el contenido de cenizas por calcinación en mufla siguiendo el método AOAC 940.26 (AOAC, 1998). Se midió en balanza analítica OHAUS (Mod. PA214), la masa de muestras provenientes de la determinación de humedad, dentro de una cápsula de porcelana previamente calcinada a 550 °C, enfriada en desecador y pesada al alcanzar la temperatura ambiente. La muestra se calentó en triangulo de pipas hasta residuo carbonoso y luego se calcinó a 550 °C en una mufla marca INDEF (Mod. 331) hasta cenizas blancas y peso constante. Se dejó enfriar en desecador y se pesó al alcanzar la temperatura ambiente. La medición se realizó por triplicado.

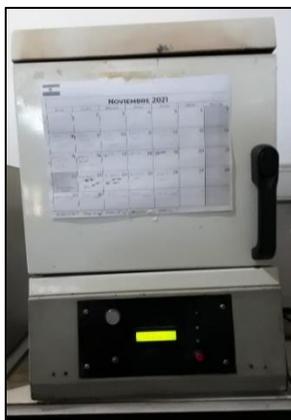


Figura 2.3: Mufla INDEF (Mod.331)

2.2.2.3 Determinación de actividad acuosa

Se midió la actividad acuosa de las muestras a 25°C por el método higrométrico AOAC 978.18 (AOAC, 1998), utilizando un equipo AQUALAB 4TEV con control de temperatura. La medición se efectuó con el sensor de punto de rocío y se realizó por triplicado.



Figura 2.4: Equipo AQUALAB 4 TEV

2.2.2.4 Determinación de sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles se determinó tomando como referencia la técnica AOAC 932.12 (AOAC, 1998). Se trituró muestra utilizando una multiprocesadora PHILIPS (modelo HR7774) y el resultado se filtró utilizando una tela de algodón. Al líquido filtrado se le midió el contenido de sólidos solubles empleando un refractómetro digital marca HANNA Instruments (modelo HI 96801). La medición se realizó por triplicado. Los resultados fueron expresados en grados Brix.



(a)



(b)

Figura 2.5: (a) Refractómetro digital HANNA instruments (mod. HI 96801); (b) Multiprocesadora Philips (mod. HR774)

2.2.2.5 Determinación de macronutrientes

2.2.2.5.1 Proteínas

Se determinó el contenido de proteínas tomando como referencia el método de Kjeldahl descrito por la técnica 955.04 de la AOAC (AOAC, 1998). Se pesaron aproximadamente 5 g de muestra y se colocaron en un balón Kjeldahl de 500 mL. Se agregaron 10 g de K_2SO_4 , 1 g de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (catalizador de Kjeldahl), plato poroso y 15 mL de H_2SO_4 concentrado. Se calentó la muestra por aproximadamente 2 horas, hasta completar la digestión de la materia orgánica (ausencia de desprendimiento de vapores y solución color celeste-verdoso). Se dejó enfriar y se agregaron 200 mL de agua, se conectó el balón a un refrigerante y del otro extremo se colocó un Erlenmeyer con 50 mL de ácido bórico (4% p/v) y unas gotas de indicador de Mortimer. Se agregó poco a poco una solución de NaOH al 40% (p/v) mientras simultáneamente se calentaba a ebullición el contenido del balón, se continuó la destilación hasta llegar a aproximadamente 200 mL

en el Erlenmeyer colector. El destilado recogido se tituló con ácido sulfúrico 0,0582N. Previamente se tituló de la misma forma un volumen de 50 mL de ácido bórico (4% p/v) con unas gotas de indicador de Mortimer y el gasto se utilizó como blanco. Para los cálculos se utilizó un factor de 5,7 para convertir el nitrógeno a gramos de proteínas y el resultado se refirió a porcentaje de la muestra. La medición se realizó por triplicado.

El porcentaje de proteínas en la muestra se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Prot} = \frac{(\text{gasto en mL} - \text{gasto en mL del blanco}) \times 0,0582 \frac{\text{meq}}{\text{mL}} \times 0,014 \frac{\text{g N}}{\text{meq}} \times 5,7 \frac{\text{gProt}}{\text{gN}}}{\text{Peso de la muestra en g}} \times 100$$

2.2.2.5.2 Lípidos

Se determinó el contenido de lípidos tomando como referencia el método de Soxhlet descrito por la técnica 963.15 de la AOAC (AOAC, 1998). En un cartucho de papel de filtro se colocaron aproximadamente 2 g de muestra previamente deshidratada y el cartucho se colocó en un tubo extractor. Se taró el balón del aparato y se conectó al mismo. Por la parte superior del tubo extractor se agregó éter de petróleo (35-60 °C) como solvente hasta descargar el sifón y luego hasta completar la mitad del contenido del tubo extractor. Se calentó durante aproximadamente 2 horas (hasta contar 7 sifonadas). Se llevó a estufa para eliminar el resto del solvente, se dejó enfriar en desecador y se pesó nuevamente en balanza analítica OHAUS (Mod. PA214). El contenido de lípidos se refirió como porcentaje de la muestra fresca. La determinación se realizó por duplicado.

El porcentaje de lípidos se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Lípidos} = \frac{\text{Masa final del balón} - \text{Masa inicial del balón}}{\text{Masa de la muestra fresca}} \times 100$$

2.2.2.5.3 Carbohidratos

El contenido de carbohidratos totales se determinó por diferencia y se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{Carbohidratos} = 100 - \% \text{Humedad} - \% \text{Proteínas} - \% \text{Lípidos} - \% \text{Cenizas}$$

2.3 Resultados y discusión

El contenido de agua, macronutrientes y cenizas encontrados en el tomate perita fresco se resume en la Tabla 2.1. El tomate analizado está constituido aproximadamente en un 95% por agua. El macronutriente principal son los hidratos de carbono que constituyen un 4,04%, seguido por las proteínas en un 0,55 % y finalmente los lípidos que se encontraron en un 0,04%. El contenido de cenizas es de 0,58%.

Componente	Promedio (g/100g)
Agua	94,79 ± 0,05
Hidratos de carbono	4,04 ± 0,20
Proteínas	0,55 ± 0,05
Lípidos	0,04 ± 0,02
Cenizas	0,58 ± 0,08

Tabla 2.1: Composición de tomate perita. Promedios y desviación estándar.

Se ha reportado que el contenido de proteínas cambia con las etapas de maduración; se ha observado un decrecimiento gradual correlacionado con el aumento en la producción de compuestos volátiles (Hernández Suárez y col., 2008). El nitrógeno proteico proviene de aminoácidos libres y enzimas. En cuanto a la fracción lipídica, esta está compuesta por triglicéridos, diglicéridos, esteroides, ácidos grasos libres e hidrocarburos. El contenido de lípidos totales varía con el cultivar, la madurez del fruto al momento de la cosecha y el tratamiento poscosecha (Ali y col., 2020; Guil-Guerrero y Reboloso-Fuentes, 2009).

Los parámetros de actividad acuosa y sólidos solubles se indican en la Tabla 2.2. El elevado valor de a_w (0,9915) indica que el agua que constituye el 95% de la composición del tomate perita es principalmente agua libre, lo cual está relacionado con el carácter perecedero del fruto. El contenido de sólidos solubles expresado en grados Brix (4,83) está directamente relacionado con el contenido de hidratos de carbono. De acuerdo con Duma y col. (2015), los sólidos solubles del tomate son predominantemente azúcares,

los cuales son importantes contribuyentes al flavor. Los azúcares son principalmente D-glucosa y D-fructosa con trazas de sacarosa y rafinosa. El contenido de azúcares del tomate es una función del estado de madurez y esta ocurre aún después de la cosecha ya que el tomate es considerado un fruto climatérico. Con el progreso de la maduración disminuye el contenido de ácidos y aumenta el contenido de azúcares (Escalona y col., 2019).

Parámetro	Promedio
Actividad acuosa (a_w)	0,9915 ± 0,0002
Sólidos solubles (grados Brix)	4,83 ± 0,06

Tabla 2.2: Actividad acuosa y solidos solubles en tomate perita. Se indica el promedio y la desviación estándar de tres repeticiones.

Los sólidos solubles totales son uno de los factores de calidad más importantes para la mayoría de los frutos. Es conocido que durante la maduración del tomate el contenido de sólidos solubles cambia; aumenta de la etapa verde madura a la etapa roja. El rango de 4,8 a 8,8 grados Brix indica la calidad más alta para el tomate (Duma y col., 2015).

2.4 Conclusiones

- El tomate es un fruto importante en la dieta humana; aporta agua, nutrientes y compuestos bioactivos asociados a múltiples beneficios para la salud. Utilizar este fruto como materia prima en un proceso que conserve su valor biológico, puede generar un producto saludable y nutritivo.
- El tomate perita que constituirá la materia prima para producir un snack de tomate, está formado principalmente por agua (95%) seguido por hidratos de carbono (4,04%), cenizas (0,58%), proteínas (0,55%) y lípidos (0,04%).

- El elevado valor de actividad acuosa (0,9915) está relacionado con el carácter perecedero del fruto. Para extender la vida útil de un producto generado a partir de tomate perita fresco, se debe apuntar a la disminución de a_w .
- El contenido de sólidos solubles (4,83 grados Brix) del tomate perita analizado se encuentra dentro del rango que indica la calidad más alta para el tomate (4,8-8,8 grados Brix). Los sólidos solubles están constituidos principalmente por azúcares que tienen una influencia directa en el flavor del fruto.

2.5 Referencias bibliográficas

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1998). *Official Methods of Analysis* (16° ed). AOAC International.

Ali, M. Y., Sina, A. A. I., Khandker, S. S., Neesa, L., Tanvir, E. M., Kabir, A., Khalil, M. I., & Gan, S. H. (2020). Nutritional Composition and Bioactive Compounds in Tomatoes and Their Impact on Human Health and Disease: A Review. *Foods*, 10(1), 45. <https://doi.org/10.3390/foods10010045>

Duma, M., Alsina, I., Dubova, L., & Erdberga, I. (2015). Chemical composition of tomatoes depending on the stage of ripening. *CHEMINÉ TECHNOLOGIJA*, 24–28. <https://doi.org/10.5755/j01.ct.66.1.12053>

Escalona, V., Correa, J., & González, A. (2019). MANEJO POSTCOSECHA DE TOMATES Y PIMIENTOS FRESCOS Y DE IV GAMA. *Serie ciencias agronómicas* (32). <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/175675/Manejo-postcosecha-de-tomatesy-pimientos-fresco.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gautier, H., Diakou-Verdin, V., Bénard, C., Reich, M., Buret, M., Bourgaud, F., Poëssel, J. L., Caris-Veyrat, C., & Génard, M. (2008). How Does Tomato Quality (Sugar, Acid, and Nutritional Quality) Vary with Ripening Stage, Temperature, and Irradiance? *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(4), 1241–1250. http://pubs3.acs.org/acs/journals/doilookup?in_doi=10.1021/jf072196t

- Guil-Guerrero, J. L., & Reboloso-Fuentes, M. M. (2009). Nutrient composition and antioxidant activity of eight tomato (*Lycopersicon esculentum*) varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, 123–129.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.10.012>
- Hernández Suárez, M., Rodríguez Rodríguez, E. M., & Díaz Romero, C. (2008). Chemical composition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) from Tenerife, the Canary Islands. *Food Chemistry*, 106(3), 1046–1056.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.025>
- Petro-Turza, M. (1986). FLAVOR OF TOMATO AND TOMATO PRODUCTS. *Food Reviews International*, 2:3, 309–351. <https://doi.org/10.1080/87559128609540802>
- Salunkhe, D. K., Jadhav, S. J., & Yu, M. H. (1974). Quality and nutritional composition of tomato fruit as influenced by certain biochemical and physiological changes. *Qualitas Plantarum Plant Foods for Human Nutrition*, 24(1–2), 85–113.
<https://doi.org/10.1007/BF01092727>
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. (2018). *FoodData Central*. Tomatoes, Red, Ripe, Raw, Year Round Average. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170457/nutrients>

CAPÍTULO 3

SECADO DE TOMATE PERITA

3.1 Introducción

3.1.1 Secado: definición y clasificaciones

El secado o deshidratación es un proceso de transferencia de calor y masa por el cual se evapora un líquido, usualmente agua, asociado a una matriz sólida (Genskow y col., 2007). La transferencia de energía en forma de calor proveniente del ambiente circundante para evaporar el agua de la superficie del sólido húmedo puede ocurrir como resultado de los procesos de convección, conducción o radiación y en algunos casos como resultado de la combinación de estos efectos. Simultáneamente el líquido en el interior del producto debe transferirse por difusión hacia la superficie para su subsecuente evaporación. Alimentos como las frutas y verduras contienen un alto contenido de humedad, más del 80% (p/p), lo cual los vuelve susceptibles a deterioro por microorganismos. La deshidratación conserva los alimentos en una condición estable y segura al reducir la actividad de agua (a_w), extendiendo significativamente la vida útil del producto.

Los métodos de secado pueden clasificarse, de manera general, en métodos naturales y artificiales (Maisnam y col., 2017). Los métodos naturales utilizan energía solar para remover la humedad de los alimentos, con la desventaja de depender de las condiciones climáticas para un buen desempeño de la operación. Los métodos artificiales utilizan equipos mecánicos o eléctricos y permiten controlar varios factores importantes para la deshidratación como ser: la temperatura, el flujo de aire y el tiempo de proceso.

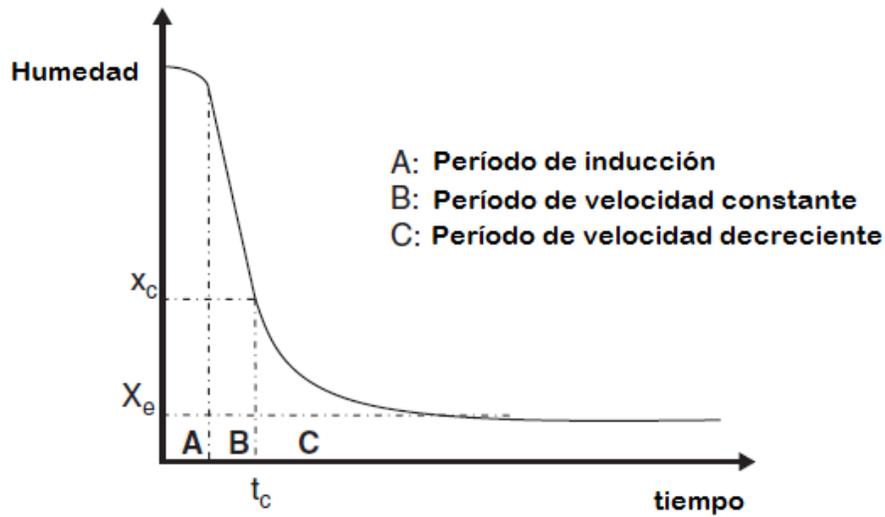
Los métodos de secado también pueden clasificarse de acuerdo al modo de operación; se denominan procesos de *lotes* (o *batch*) cuando el material se introduce en el equipo de secado y el proceso se verifica por un periodo de tiempo establecido; o *continuos* si el material se añade sin interrupción al equipo de secado y se obtiene material deshidratado con régimen continuo (Geankoplis, 2003). También pueden clasificarse de acuerdo con las condiciones físicas usadas para adicionar calor y evaporar el agua: (1) en el *secado directo* el calor se añade por convección por contacto directo con aire caliente a presión atmosférica, y el vapor de agua formado se elimina por medio del mismo aire; (2) en el *secado indirecto* el calor se añade por conducción por contacto con una pared metálica o por radiación; los secadores indirectos son adecuados para

deshidratar bajo presiones reducidas y atmósferas inertes para permitir la recuperación de solventes o evitar la oxidación de compuestos susceptibles.

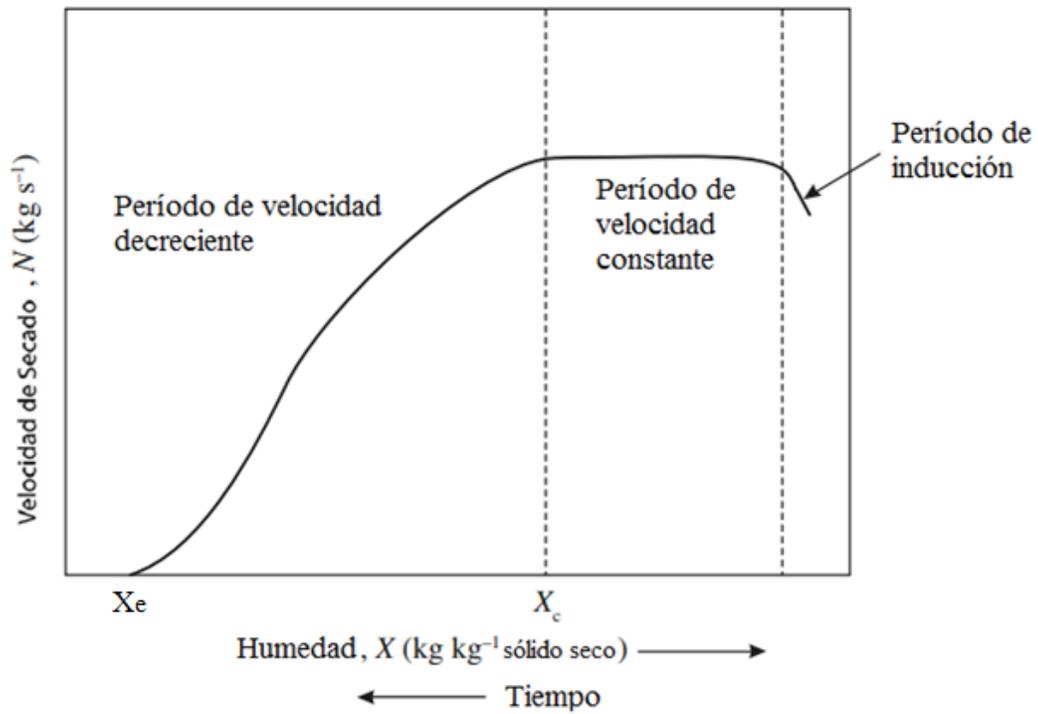
El secado es un proceso de separación que convierte un alimento húmedo o líquido, en un producto sólido a través de la conversión del líquido en una fase de vapor por la aplicación de calor. En el caso especial de *liofilización*, se opera en condiciones por debajo del punto triple del agua por lo que la deshidratación ocurre por sublimación del agua en fase sólida hacia la fase de vapor. En todos los casos, el cambio de fase y la generación de un producto final sólido, son características esenciales del proceso de secado por lo que esta definición excluye la conversión de una fase líquida en una fase líquida concentrada (evaporación), operaciones mecánicas de remoción de agua como filtración, centrifugación, sedimentación, extracción supercrítica y adsorción (Mujumdar, 2006).

3.1.2 Fundamentos del proceso de secado

Las variables que determinan el tiempo de deshidratación de un producto son: (i) variables del proceso (temperatura, velocidad del aire, características del flujo, presión y humedad relativa) y (ii) variables del producto (humedad, temperatura, tamaño, forma, estructura y área superficial expuesta) (Grau y col., 2015). Debido al alto número de variables, posibles combinaciones y cambios en las propiedades del sólido durante el proceso, resulta muy difícil predecir teóricamente el tiempo de secado de un determinado material por lo que es necesario determinarlo por vías experimentales. Una manera de caracterizar el comportamiento de secado de un material es fijando las condiciones del proceso y determinando la evolución del contenido de humedad en función del tiempo, esto da como resultado la *curva de secado*. La Figura 3.1a muestra una curva de secado típica para un producto con alta humedad. También puede representarse la velocidad de secado en función del contenido de humedad, como se muestra en la Figura 3.1b. En dichas figuras, tres zonas pueden distinguirse, correspondiendo a tres etapas típicas en un proceso de deshidratación: período de inducción, período de velocidad constante y período de velocidad decreciente.



(a)



(b)

Figura 3.1: Curvas de secado típicas; (a) Humedad en función del tiempo, fuente: Principles of Drying, Handbook of Fermented Meat and Poultry (2015); (b) velocidad de secado en función de la humedad, fuente: Unit Operations, Bioprocess Engineering Principles (2013).

El período de inducción corresponde al inicio del proceso de secado. La transferencia de calor desde el aire hacia el producto eleva la temperatura de la superficie hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo. La duración de este período es muy pequeña comparada con la duración del período de velocidad constante y velocidad decreciente.

Cuando la superficie alcanza la temperatura de bulbo húmedo, todo el calor proveniente del aire es utilizado para evaporar agua y mientras la velocidad de evaporación sea menor o igual que la velocidad de transporte de agua desde el interior hacia la superficie, la velocidad de secado será constante (período de velocidad constante). En este período la superficie del sólido permanece saturada con agua de modo que hay, en todo momento, agua libre disponible para ser evaporada y la transferencia de calor y masa tiene lugar en la superficie. A medida que la deshidratación continúa, la superficie comienza a secarse y la velocidad de secado comienza a disminuir; este es el final del período de velocidad constante y la humedad del producto en este punto es conocida como humedad crítica (X_c) y el tiempo necesario para alcanzar este punto es conocido como tiempo crítico (t_c).

Al inicio del período de velocidad decreciente la superficie se vuelve parcialmente insaturada y ya no hay una continua capa de líquido. Esta situación continúa gradualmente hasta que toda la superficie se seca. Una capa de sólido seco se va formando desde la superficie hacia el interior y el calor debe ser transferido por conducción hacia el agua remanente en el interior del sólido; en efecto, la superficie de evaporación se mueve hacia el interior del sólido a medida que el secado procede. Debido a que el sólido seco cerca de la superficie es generalmente un mal conductor de calor, la velocidad de secado decrece progresivamente. A medida que el sólido se seca, el agua debe ser transportada por *difusión* desde el centro hacia la superficie de evaporación antes de ser removida en la fase gaseosa. El contenido de humedad disminuye hasta alcanzar la humedad de equilibrio (X_e). Esta es la humedad más baja que puede alcanzarse a la temperatura y humedad relativa utilizadas en el proceso de secado.

Las curvas de secado de algunos materiales pueden desviarse de las presentadas en la Figura 3.1, por ejemplo: muchos materiales presentan el período de velocidad constante,

sin embargo, para algunos materiales, la transferencia interna de calor y masa determina siempre la velocidad de secado por lo que nunca se alcanza un período de velocidad constante (Doran, 2013). Las curvas de secado también pueden ser más complejas si durante el proceso de secado ocurren modificaciones estructurales o químicas dentro del sólido. Durante el secado el sólido se puede encoger, expandir, endurecer, volverse más o menos poroso, o cambiar su estructura cristalina; como resultado, propiedades como la conductividad térmica o difusividad pueden cambiar con el tiempo de secado.

Con respecto a la temperatura del material que se está deshidratando, la misma varía a lo largo del proceso de secado (Barta, 2006). En el período inicial de secado, la temperatura del material alcanza la temperatura de bulbo húmedo. La temperatura no cambia durante el periodo de velocidad constante hasta alcanzar la humedad crítica. La temperatura del material aumenta en el período de velocidad decreciente hasta igualarse a la temperatura del aire de secado cuando el proceso finaliza. La Figura 3.2 muestra la curva de la temperatura promedio de un material durante el proceso de secado.

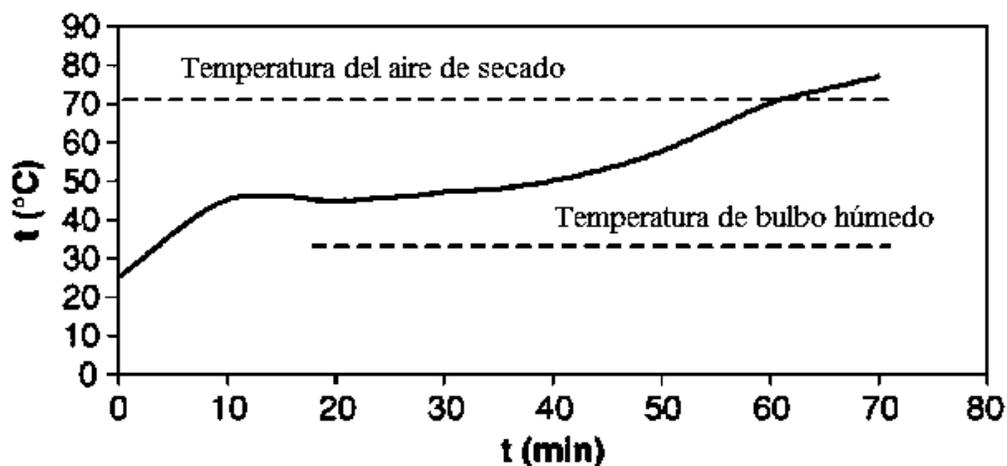


Figura 3.2: Temperatura promedio de un material durante el proceso de secado. Fuente: Fruit Drying Principles, Handbook of Fruits and Fruit Processing (2006).

3.1.3 Isotermas de sorción

La conservación de un alimento deshidratado depende del contenido de humedad, migración de humedad o ganancia de humedad durante el almacenamiento. El grado de ganancia o pérdida de agua por un producto alimenticio depende de la presión de vapor

del agua en el alimento y de la del aire circundante. El contenido de humedad al cual la presión de vapor del agua en el alimento iguala a la del aire circundante es conocido como contenido de humedad de equilibrio. Para un determinado material el contenido de humedad de equilibrio aumenta con la humedad relativa del aire y disminuye con la temperatura (Basu y col., 2006). Para describir la presión relativa del agua en un alimento, se utiliza el parámetro de actividad acuosa:

$$a_w = \frac{p}{p_s}$$

Donde a_w es la actividad acuosa, que toma valores entre 0 y 1, p es la presión parcial del agua en el alimento y p_s es la presión de saturación del agua pura a la misma temperatura. Si se representa gráficamente la actividad acuosa de un material en función de su contenido de humedad a temperatura constante, se obtiene la *isoterma de sorción*. Existen diversos métodos para determinar las isotermas de sorción de productos alimenticios (Barta, 2006). Uno de los métodos consiste en colocar el material con un valor conocido de humedad en un espacio cerrado (de modo que el volumen de aire circundante sea menor al del producto) y dar tiempo a que se alcance el equilibrio. La actividad acuosa del material será igual a la humedad relativa del aire que se ha equilibrado con el mismo ($a_w = \text{HR}\%/100$). Los valores de humedad relativa del aire medidos a la misma temperatura pero diferentes niveles de humedad, darán como resultado la isoterma de sorción para ese material determinado. Otro método (Doran, 2013) consiste en exponer una pequeña cantidad del material a ambientes de distintas humedades relativas (siendo en este caso mayor el volumen de aire en relación al del producto) y medir el contenido de humedad del material una vez equilibrado con el ambiente a temperatura constante. La exposición de una muestra deshidratada a aire de humedad progresivamente en aumento da una *isoterma de adsorción o hidratación* ya que el producto gana humedad para equilibrarse con el aire. En cambio, la exposición de una muestra húmeda a aire con humedad progresivamente decreciente da una *isoterma de desorción o deshidratación* ya que la misma pierde humedad para alcanzar el equilibrio. Algunos materiales muestran *histéresis*, esto significa que las isotermas de adsorción y desorción no coinciden. Esto puede ocurrir cuando la hidratación o la

deshidratación conducen a cambios irreversibles en la estructura del sólido. Otra razón es que el llenado y vaciado de capilares dentro del alimento no sigue la misma cinética (Mathlouthi, 2001).

Una isoterma de sorción, típicamente, se divide en 3 regiones (Figura 3.3). En la región A, el agua se encuentra fuertemente ligada y su entalpía de vaporización es considerablemente mayor que la del agua pura. El agua ligada no se congela y no está disponible para reacciones químicas o bioquímicas. En la región B, el agua está unida con menos fuerza que en la primera región. La entalpía de vaporización es levemente mayor que la del agua pura; esta clase de agua constituyente puede verse como la transición continua de agua ligada a agua libre. El límite o la frontera entre la región A y la región B es el agua de monocapa (una capa de agua de una molécula de espesor sobre los sitios de unión). En la región C, las propiedades del agua son muy cercanas a las del agua pura, esta es retenida en espacios huecos y está muy débilmente ligada a los componentes del alimento (Basu y col., 2006).

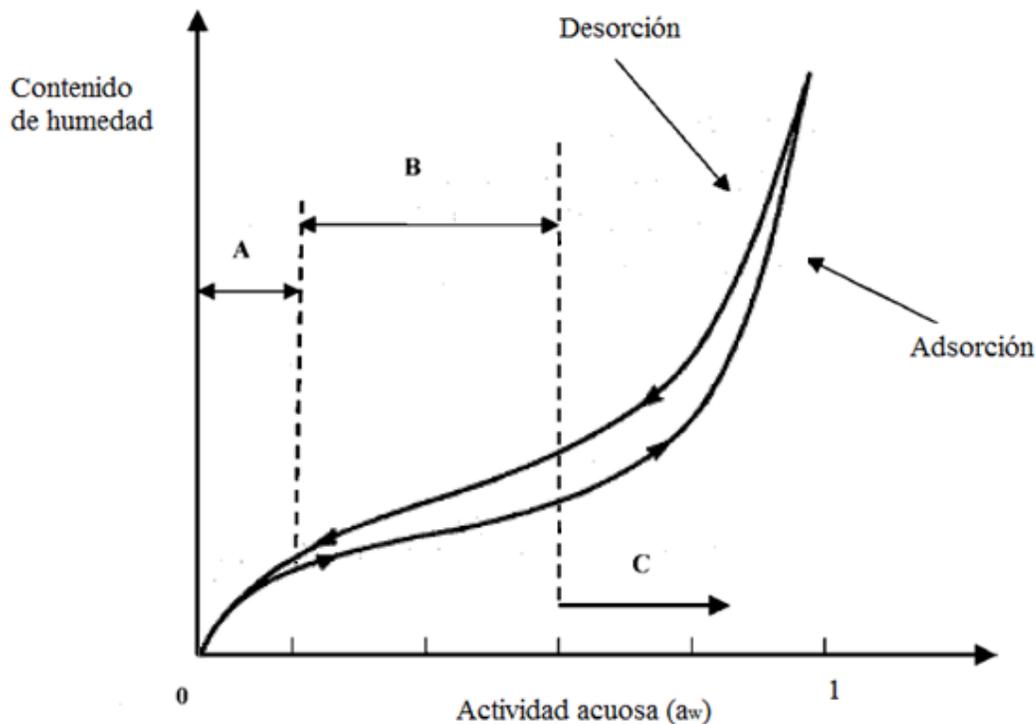


Figura 3.3: Isoterma de sorción típica, mostrando el fenómeno de histéresis. Fuente: Adaptado de Models for Sorption Isotherms for Foods: A Review (2006).

Uno de los principales métodos de conservación de alimentos es controlar el parámetro de a_w . La velocidad de reacciones que requieren de una fase acuosa, como las reacciones enzimáticas, la oxidación lipídica, el pardeamiento no enzimático, y la velocidad de crecimiento de microorganismos son funciones del valor de a_w y pueden representarse en un mapa de estabilidad (Barbosa-Cnovas y col., 2020) (Figura 3.4).

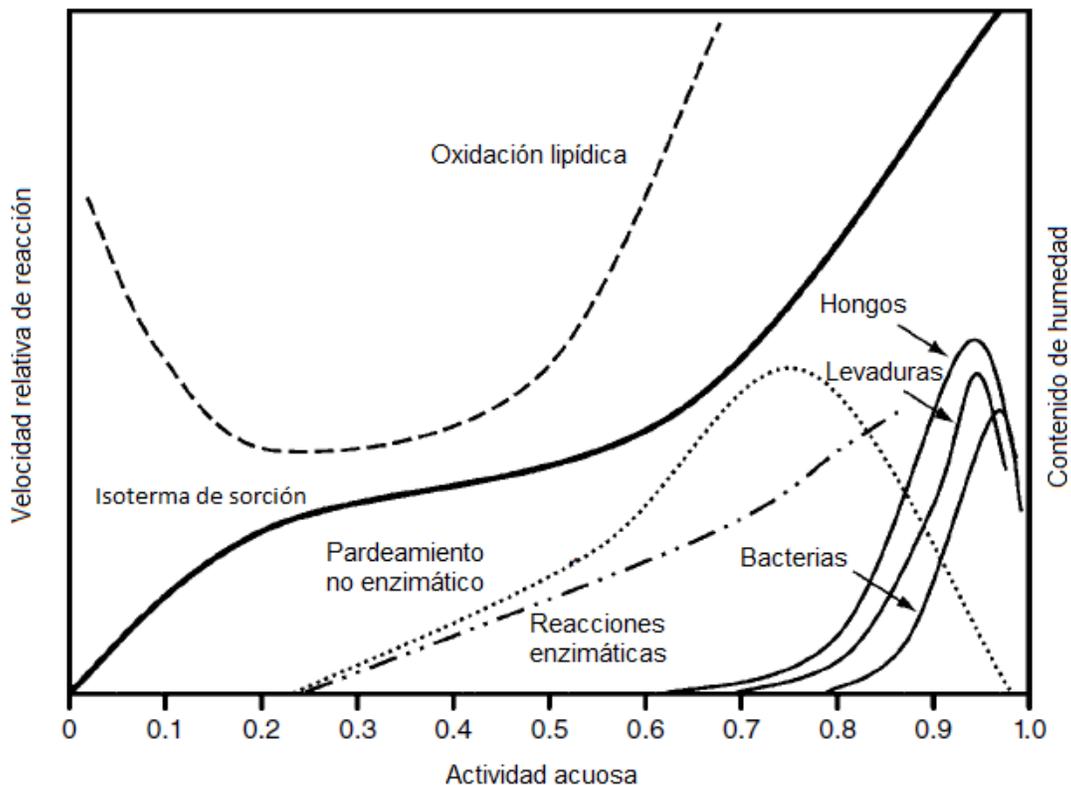


Figura 3.4: Mapa de estabilidad de un alimento como función de a_w .
Fuente: Adaptado de Fontana, A. J. y col. (2020). *Water Activity in Foods*.

Para las reacciones de pardeamiento no enzimático y para las reacciones enzimáticas existe un límite inferior, usualmente a valores de a_w entre 0,2 y 0,3, por debajo del cual la reactividad es 0; por encima de dicho límite inferior la velocidad de reacción aumenta hasta, en el caso de pardeamiento no enzimático, alcanzar un máximo a valores de a_w entre 0,6 y 0,8 y luego decrece nuevamente hasta llegar a 0 en el valor de a_w igual a 1. La oxidación lipídica, por su parte, muestra un mínimo en el rango de a_w de 0,2 a 0,35 y aumenta su velocidad a ambos lados del punto mínimo, es decir al aumentar o al disminuir a_w . En cuanto al crecimiento de microorganismos, los hongos pueden crecer a límites inferiores que las levaduras y ambos crecen a límites inferiores que las bacterias.

Ningún tipo de microorganismo puede crecer a valores de a_w menores o iguales a 0,6 (Montville y col., 2012). Si bien no pueden crecer, los microorganismos pueden sobrevivir a valores bajos de a_w y si se crea un medio propicio, pueden comenzar a crecer nuevamente. Por esta razón también es importante conocer las relaciones entre el contenido de humedad y a_w de un alimento. En general, el conocimiento y comprensión de las isotermas de sorción es muy importante en ciencia y tecnología de alimentos; para el diseño y optimización de equipos de secado, diseño de envases, predicciones de calidad, estabilidad, vida útil y para prever o predecir cambios que puedan ocurrir en la humedad durante el almacenamiento (Andrade y col., 2011).

3.1.4 Modelado matemático

Los modelos matemáticos pueden ser herramientas muy útiles para el diseño, simulación y optimización de los procesos de secado (Maisnam y col., 2017; Torrez Irigoyen y col., 2014). El modelado y la simulación de las curvas de secado bajo diferentes condiciones son importantes para obtener un mayor control de esta operación unitaria y una mejora general en la calidad del producto final (Demarchi y col., 2018; Rafiee y col., 2010). Los modelos matemáticos de secado se pueden clasificar en tres categorías: teóricos, empíricos y semi empíricos (Maisnam y col., 2017). Los modelos teóricos solamente toman en cuenta la resistencia interna a la transferencia de humedad mientras que los modelos empíricos consideran la resistencia externa y no toman en cuenta los fundamentos del proceso de secado por lo que solamente son capaces de describir los datos en condiciones específicas, pero no para explicar el proceso que ocurre durante el secado. El modelo teórico más utilizado es la segunda ley de Fick de la difusión, pero su uso puede ser complejo para aplicaciones prácticas y puede generar resultados alejados a los obtenidos experimentalmente. Por lo anterior han surgido modelos semi teóricos o semi empíricos que permiten reducir las desviaciones del modelo de la segunda Ley de Fick en las curvas de secado de determinados alimentos. Algunos modelos semi empíricos son: el modelo exponencial y el modelo de Page.

3.1.4.1 Modelo difusivo

Los materiales biológicos como los productos agrícolas poseen un alto contenido de humedad, sin embargo, generalmente no muestran un período de velocidad constante en sus curvas de secado y se deshidratan principalmente en el período de velocidad decreciente (Erbay e Icier, 2010). Para describir el proceso de secado de productos alimenticios durante el período de velocidad decreciente se ha utilizado ampliamente la segunda ley de Fick de difusión (Abano y col, 2011):

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{\text{eff}} \nabla^2 M \quad (3.1)$$

Modelo difusivo

Donde M es el contenido de humedad expresado en kg agua/ kg de materia seca, t es el tiempo (s) y D_{eff} es el coeficiente de difusión efectivo (m^2/s). Este coeficiente de difusión es una propiedad del material y su valor depende de las condiciones internas. La difusividad efectiva describe todos los posibles mecanismos de movimiento de humedad dentro del producto, tales como difusión de líquido, difusión de vapor, difusión superficial, flujo capilar y flujo hidrodinámico (Rafiee y col., 2010).

3.1.4.2 Modelo de Page

Algunos autores han propuesto un modelo cinético basado en la segunda ley de Fick que ha sido conocido como modelo exponencial simple (Lopez y col., 2000):

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-k \cdot t) \quad (3.2)$$

Donde MR representa el contenido de humedad adimensional, M es el contenido de humedad, M_e el contenido de humedad de equilibrio, M_0 la humedad inicial, t es el tiempo (s) y k es una constante denominada constante de secado. Este modelo tiende a predecir valores muy altos en las primeras etapas del secado y valores muy bajos en las últimas

etapas (Senadeera y col., 2003). Para superar los defectos de un modelo exponencial simple, se aplica el modelo de Page, el cual realiza una modificación empírica a la variable tiempo (t) al introducir el exponente “ n ”:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-k \cdot t^n) \quad (3.3)$$

El modelo de Page ha sido utilizado de manera exitosa para describir las características de secado de varios materiales alimenticios como pimiento rojo, porotos, zanahoria, uvas, papa, okra y tomate (Doymaz, 2005; Gaware y col., 2010).

3.1.5 Deshidratación de tomate

En el caso del tomate, fruto con contenido de humedad superior al 90%, la deshidratación ha sido practicada durante muchos años para preservarlo. Secado con aire caliente, secado al sol, secado en túnel solar, secado con microondas y liofilización están entre los métodos más comúnmente utilizados para deshidratar tomate (Ashebir y col., 2009). El secado solar es una práctica común en los trópicos y subtropicos especialmente a niveles caseros, mientras que el secado con aire caliente es utilizado como método de deshidratación industrial y es el más utilizado a nivel mundial debido a que los costos de inversión y operación son relativamente bajos, alcanzando buenos rendimientos (Akanbi y col., 2006; Kaur y col., 2020). La deshidratación permite reducir la humedad del fruto a niveles en los que la actividad de microorganismos y de enzimas es inhibida, reduciendo así la susceptibilidad al deterioro. Al mismo tiempo, el secado reduce el peso y el volumen del producto, facilitando su manejo para el transporte y almacenamiento. Si bien la deshidratación extiende significativamente la vida en anaquel del producto, el proceso puede inducir una serie de cambios físicos, químicos y de bioactividad que afectan su aceptabilidad por el consumidor final. La magnitud de estos cambios depende de las condiciones de deshidratación (Ochoa-Reyes y col., 2013). Reacciones de descomposición química se llevan a cabo cuando la temperatura del producto aumenta por la aplicación de energía térmica, estas reacciones químicas son una potencial causa de la destrucción de nutrientes sensibles al calor, como vitaminas y antioxidantes. En

años recientes la demanda de alimentos procesados con alto valor nutricional se ha vuelto prominente por lo que es esencial entender los factores que afectan las reacciones de descomposición química para retener el valor nutricional en los productos procesados (Ghasemi y Chayjan, 2019). Muchos autores han estudiado los parámetros del proceso de deshidratación y sus efectos en la calidad del producto y coinciden en que temperaturas muy altas y/o tiempos muy prolongados pueden causar serios daños en el flavor del producto, así como en el color, en los nutrientes y en la capacidad de rehidratación. Se ha propuesto que la modificación de las condiciones de operación durante el secado por aire caliente de tomate, utilizando temperaturas más bajas, reduciendo el grosor de la muestra y promoviendo la reducción parcial de humedad con métodos alternativos puede contribuir a la disminución de la descomposición química causada por la oxidación (Correia y col., 2015), obteniendo un producto deshidratado final de mayor calidad. Demiray y col. (2013) estudiaron el secado de cuartos de tomate con aire a 70, 80, 90 y 100 °C y concluyeron que para obtener la mejor retención de licopeno y β -caroteno en los productos finales, los tomates deben secarse a temperaturas menores a 70 °C.

Otros autores han estudiado las características de secado de tomate, manteniendo como límite superior temperaturas cercanas a 70 °C para mantener la calidad en los productos; Akanbi y col. (2006) estudiaron las cinéticas de secado de rodajas de tomate de 15 mm de espesor, a las temperaturas de 45, 60 y 75 °C y encontraron que las curvas no muestran periodos de velocidad constante; solamente periodos de velocidad decreciente por lo que concluyen que el secado de rodajas de tomate puede describirse mediante mecanismos difusivos. Abano y col. (2011) aplicaron distintos modelos matemáticos en las curvas de secado de rodajas de tomate de 7 mm de espesor a temperaturas entre 50 y 80 °C y encontraron que el modelo de Page es el que mejor describe la deshidratación de las rodajas. Resultados similares fueron obtenidos por Doymaz (2005) que estudió el secado de mitades de tomate con aire a temperaturas entre 55 y 70 °C y el mejor ajuste de los datos experimentales lo obtuvo con el modelo de Page.

El objetivo del presente capítulo es estudiar el secado de rodajas de tomate perita proveniente del Cinturón Hortícola Platense para producir un snack saludable. Se utilizó

secado por convección de aire en un deshidratador eléctrico y se trabajó a distintas temperaturas de proceso: 40 °C, 50 °C, 60 °C y 67 °C; se seleccionaron temperaturas inferiores a 70 °C para obtener la mayor retención de compuestos beneficiosos para la salud que naturalmente se encuentran en el producto fresco. Para cada temperatura de proceso, se registró el cambio en la humedad de las rodajas en función del tiempo para graficar las distintas curvas de secado y se midió su temperatura con un sensor infrarrojo para registrar la historia térmica. Se determinó la actividad acuosa de rodajas a 25 °C con distinto contenido de humedad para elaborar una isoterma de desorción y obtener mayor información sobre la estabilidad de los productos generados. Se evaluaron distintos modelos matemáticos para describir las curvas de secado obtenidas, particularmente el modelo difusivo de la segunda ley de Fick, y el modelo semi empírico de Page. Se obtuvo la difusividad efectiva para cada temperatura de proceso mediante la ecuación de la segunda ley de Fick y posteriormente se calculó la energía de activación con una ecuación del tipo Arrhenius.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Materia prima

Tomates perita previamente seleccionados se lavaron con agua potable, se desinfectaron con hipoclorito de sodio en una concentración de 100 ppm con un tiempo de contacto de 2 minutos (FDA, 1998), se secaron manualmente con papel absorbente y se cortaron en rodajas de 5 mm de espesor utilizando una multiprocesadora marca PHILIPS (modelo HR7774). Posteriormente el espesor de las rodajas se verificó con un calibre analógico ($\pm 0,05$ mm). Se determinó la humedad inicial de las rodajas por diferencia de peso en estufa a 135°C durante 3 h, según el método descrito por la AOAC (método 984.25, AOAC, 1998), la determinación se realizó por triplicado.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3.5: (a) Tomates perita frescos; (b) Desinfección de materia prima; (c) Multiprocesadora Philips (mod. HR774); (d) Rodajas de 5 mm de tomate perita.

3.2.2 Secado con aire caliente

Para el secado de las rodajas de tomate se utilizó un deshidratador con circulación de aire caliente marca Bio Origen modelo FA-6MZ con una temperatura máxima de 67 °C. Las rodajas fueron distribuidas en bandejas previamente pesadas, y deshidratadas a las temperaturas de aire de 40, 50, 60 y 67 °C a una velocidad de circulación de aire de 0,03 m/s, por cada temperatura se realizó un duplicado. La masa de las muestras fue medida

antes de iniciar el secado y luego cada 30 minutos durante las primeras tres horas y cada 60 minutos durante el periodo posterior, hasta alcanzar una masa constante. Para el seguimiento de la masa de las muestras se utilizó una balanza electrónica granataria marca OHAUS (modelo PA1502) con capacidad de 1500 g y 0,01 g de precisión. Al momento de cada pesada se midió la temperatura de las rodajas de tomate utilizando un termómetro infrarrojo Testo 830-T2. Por otro lado, se extrajeron (a los mismos tiempos) muestras de bandejas destinadas exclusivamente para determinación de actividad acuosa y medición de humedad por estufa, las cuales se colocaron en un envase hermético y fueron llevadas a un freezer marca RIFICOR (modelo C-200) a -40 °C para su almacenamiento hasta posteriores análisis.



Figura 3.6: Deshidratador Bio Origen modelo FA-6MZ de 6 bandejas



(a)



(b)

Figura 3.7: (a) Rodajas frescas de tomate (b) Rodajas de tomate deshidratadas



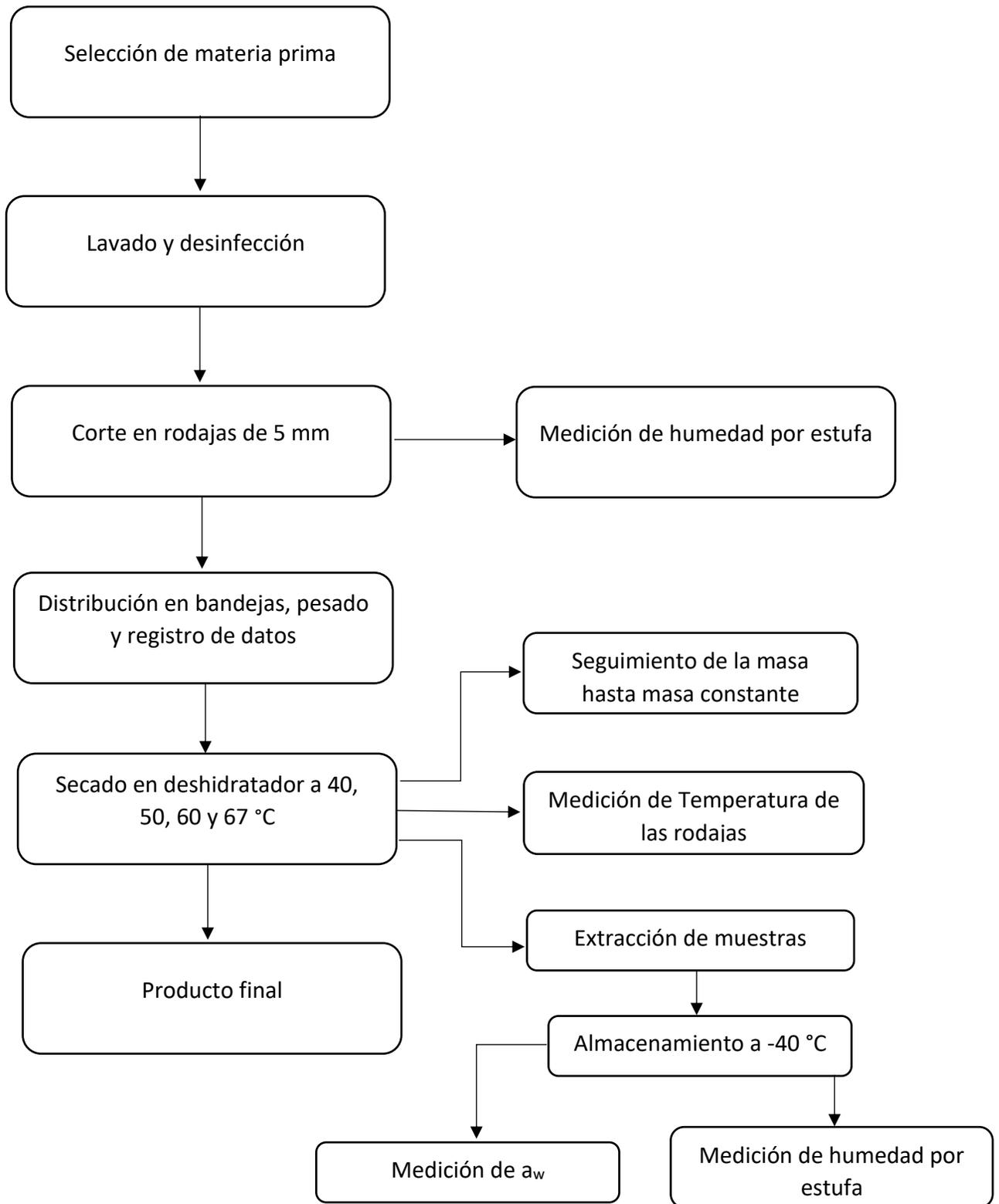
(a)



(b)

Figura 3.8: (a) Termómetro infrarrojo Testo 830-T2. (b) Balanza electrónica OHAUS PA1502

3.2.3 Diagrama de proceso



3.2.4 Curvas de secado e historias térmicas

A partir de la humedad inicial de las rodajas y del cambio en la masa durante el secado, se determinó el cambio en la humedad en función del tiempo. Se promediaron los valores de las dos bandejas centrales del deshidratador. Se graficó el contenido de humedad adimensional en función del tiempo. La humedad adimensional se calculó de la siguiente manera:

$$MR = \frac{M}{M_0} \quad (3.4)$$

Donde MR representa el contenido de humedad adimensional, M el contenido de humedad en el tiempo t y M_0 el contenido inicial de humedad. Para cada temperatura de proceso, se obtuvo la historia térmica de las rodajas de tomate al graficar el cambio en la temperatura en función del tiempo.

3.2.5 Isotherma de desorción

De las muestras almacenadas herméticamente en freezer a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, se seleccionaron las deshidratadas a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ya que es una temperatura intermedia entre las utilizadas en el proceso de secado de las rodajas de tomate. Las muestras se extrajeron del freezer, se mantuvieron en el envase hermético y se les dejó alcanzar la temperatura ambiente. Posteriormente se determinó, por duplicado, la actividad acuosa de las muestras a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, utilizando el equipo AQUALAB 4TEV. Se midió, por triplicado, el contenido de humedad de las muestras por diferencia de peso en estufa a 135°C durante 3 h. Se graficó el contenido de humedad en función de la actividad acuosa para obtener una isoterma de desorción.

3.2.6 Modelado matemático

Para una placa plana, asumiendo distribución uniforme y movimiento unidimensional de la humedad, difusividad constante, volumen constante y resistencia externa despreciable, la ecuación de Fick (Ecuación 3.1) tiene una solución analítica simple:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n + 1)^2} \exp\left(\frac{-(2n + 1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right)$$

(3.5)

Donde MR representa el contenido de humedad adimensional, M_e la humedad de equilibrio, M_0 la humedad inicial, L la mitad del espesor de la muestra (m) y n es el número de términos de la serie.

Para modelar los datos de las curvas de secado se omitió el contenido de humedad de equilibrio debido a que para el tomate los valores de M_e son muy pequeños comparados con los valores de M o M_0 y por lo tanto el error involucrado en la simplificación es despreciable (Doymaz, 2007). La Ecuación 3.5 queda simplificada de la siguiente forma:

$$MR = \frac{M}{M_0} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n + 1)^2} \exp\left(\frac{-(2n + 1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right)$$

(3.6)

Para tiempos largos la Ecuación 3.6 se simplifica al considerar solo el primer término de la solución en serie y se obtiene la Ecuación 3.7:

$$MR = \frac{M}{M_0} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(\frac{-\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (3.7)$$

Para cada temperatura de proceso se calculó la difusividad efectiva (D_{eff}) a partir de la pendiente de la gráfica de $\ln MR$ vs t .

Se evaluó también el modelo semi empírico de Page:

$$MR = \frac{M}{M_0} = \exp(-k \cdot t^n) \quad (3.8)$$

Para el ajuste de los datos experimentales se utilizó el software de cómputo numérico Matlab y las funciones estadísticas de Microsoft Excel. El parámetro utilizado para evaluar el ajuste de los modelos fue el coeficiente de determinación R^2 .

3.2.7 Determinación de la funcionalidad de D_{eff} con la temperatura

La difusividad efectiva (D_{eff}) se relacionó con la temperatura mediante una ecuación del tipo Arrhenius:

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T + 273,15)}\right) \quad (3.9)$$

Donde D_0 es la constante en la ecuación de Arrhenius (m^2/s), E_a es la energía de activación (KJ/mol), T es la temperatura del aire caliente ($^{\circ}C$) y R es la constante universal de los gases (8,31451 KJ/mol K). En el análisis de Arrhenius se asume que la temperatura del material deshidratándose es la misma que la del ambiente circundante. Por lo tanto, la suposición isothermal se aplica para determinar tanto la difusividad efectiva como la energía de activación. Se calculó la energía de activación (E_a) a partir de la pendiente de la gráfica de $\ln D_{eff}$ vs $1/(273,15 + T)$.

Para las constantes de secado (k) del modelo de Page, obtenidas a las distintas temperaturas de proceso, también se estableció una relación del tipo Arrhenius (Senadeera y col., 2003):

$$k = k_0 \exp\left(\frac{-E_a}{R(273,15 + T(^{\circ}C))}\right) \quad (3.10)$$

Se calculó la energía de activación (E_a) a partir de la pendiente de la gráfica de $\ln k$ vs $1/(273,15 + T)$ y se comparó con el valor obtenido a través de las difusividades efectivas de la segunda ley de Fick.

3.3 Resultados y discusión

3.3.1 Curvas de secado

Las curvas de secado para las cuatro temperaturas se muestran en la Figura 3.9:

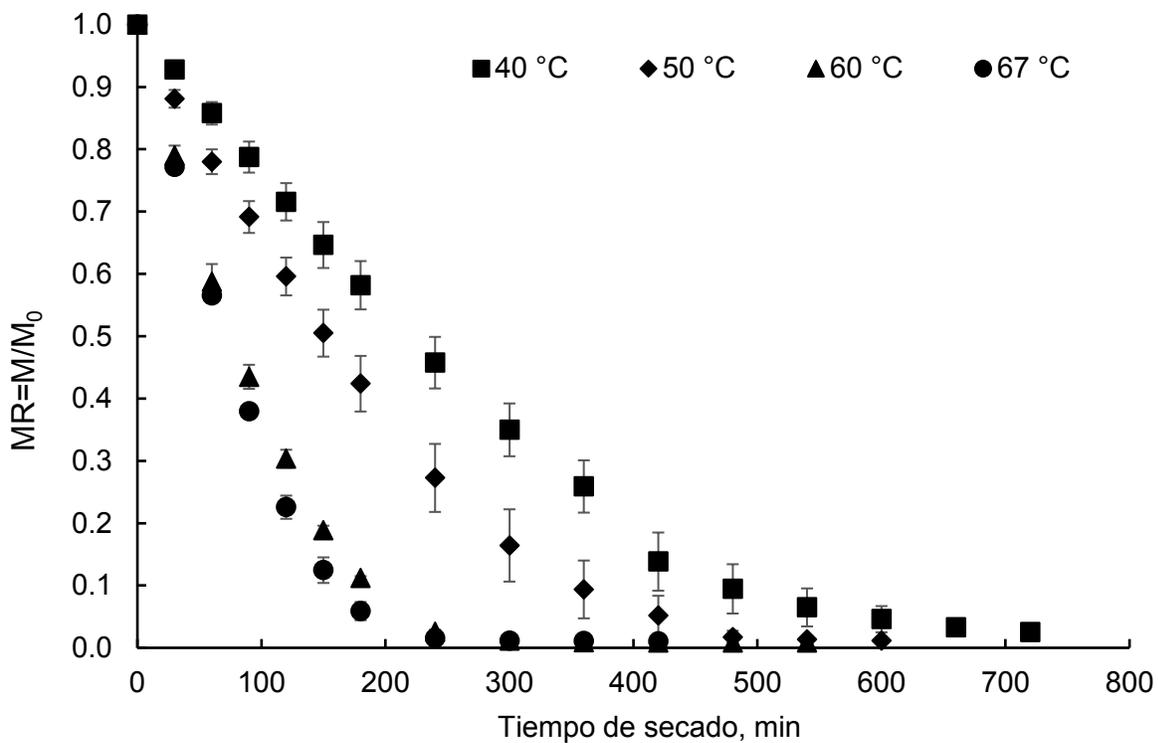


Figura 3.9: Cambio en el contenido de humedad adimensional en función del tiempo para las temperaturas de 40, 50, 60 y 67 °C.

El contenido de humedad adimensional final y el tiempo total de secado para las cuatro temperaturas se presenta en la Tabla 3.1. El tiempo de secado, hasta alcanzar masa constante, se reduce significativamente al aumentar la temperatura de proceso. Al aumentar la temperatura de 40 °C a 67 °C el tiempo se reduce 300 minutos, esto está

directamente relacionado con un aumento en la velocidad de secado. Se observa que las curvas a 60 °C y 67 °C son muy similares.

Temperatura	MR final	Tiempo (min)
40 °C	0,025 ± 0,001	720
50 °C	0,012 ± 0,005	600
60 °C	0,008 ± 0,002	480
67 °C	0,010 ± 0,004	420

Tabla 3.1: Humedad adimensional final y tiempo de secado para las cuatro temperaturas de proceso.

Al calcular las pendientes ($V=\Delta MR/\Delta t$) de las curvas mostradas en la Figura 3.9 y graficarlas en función del contenido de humedad adimensional, se obtiene la Figura 3.10:

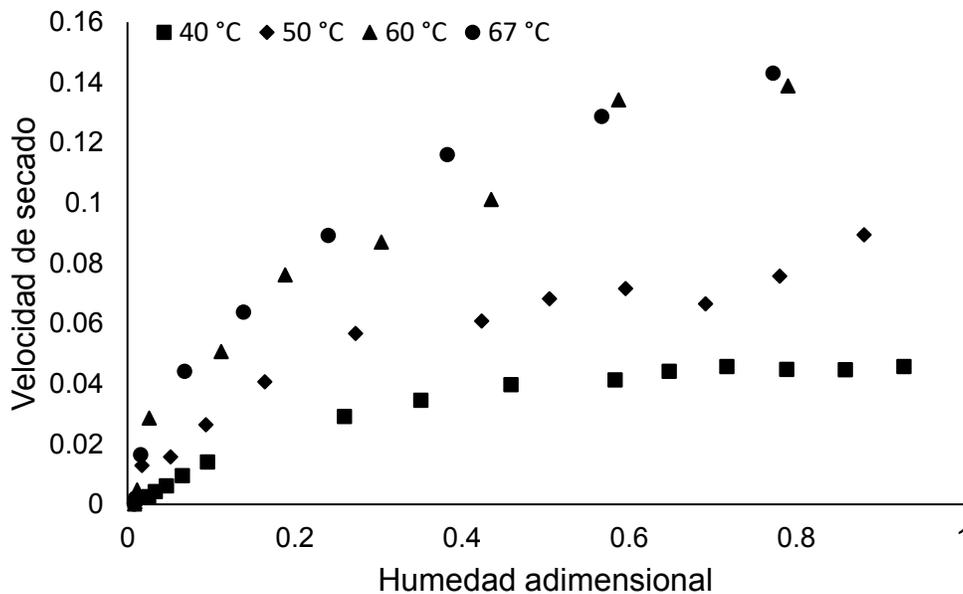


Figura 3.10: Velocidad de secado en función del contenido de humedad adimensional para las temperaturas de 40, 50, 60 y 67 °C.

Se puede observar que el aumento de la temperatura en el rango de 40 a 67 °C aumenta marcadamente la velocidad de secado. A la temperatura de 40 °C se observa un período

de velocidad constante, cuando la humedad decrece de 19 a 12 Kg de agua/ Kg de materia seca (1 a 0.6 en contenido de humedad adimensional). No se observó comportamiento similar para las temperaturas de 50, 60 y 67 °C.

Abano y col. (2011) estudiaron las cinéticas de secado de rodajas de tomate de 7 mm de espesor y encontraron períodos de velocidad constante a las temperaturas de 50 y 60 °C entre las humedades de 25-15 Kg de agua/Kg de materia seca. Akanbi y col (2006), por su parte, encontraron solamente períodos de velocidad decreciente en el secado de rodajas de tomate de 15 mm de espesor a temperaturas entre 45 y 75 °C. De igual modo, Doymaz (2007) encontró solamente períodos de velocidad decreciente en el secado de mitades de tomate a temperaturas entre 55 y 70 °C.

3.3.2 Historias térmicas

El cambio en la temperatura de las rodajas en función del tiempo, para las cuatro temperaturas de proceso se presenta en la Figura 3.11:

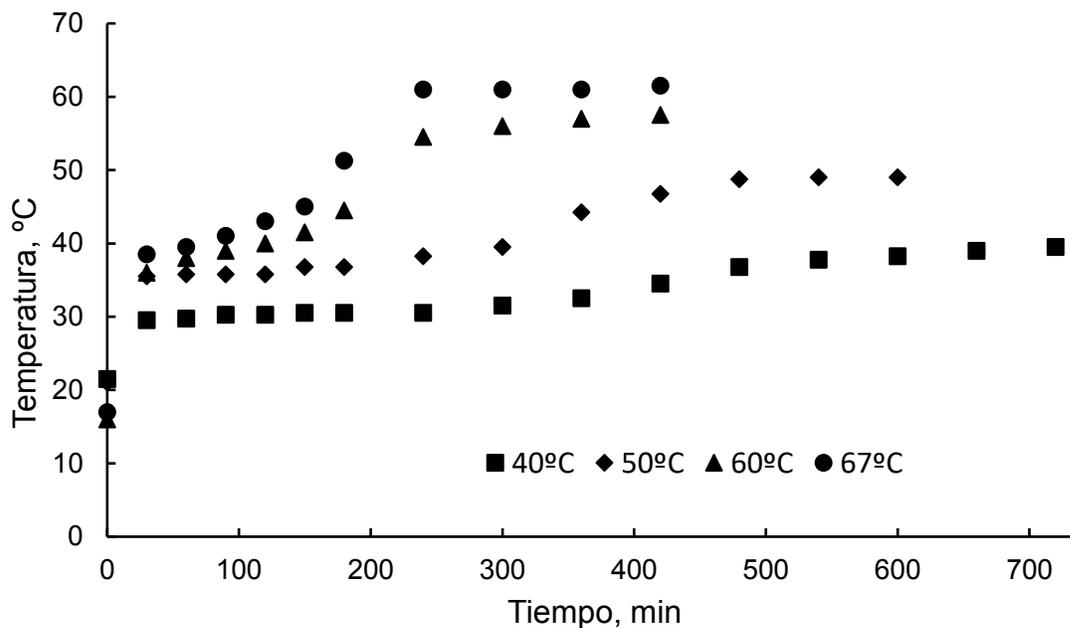


Figura 3.11: Historia térmica de las rodajas de tomate perita en las cuatro temperaturas de secado

Se observa como a medida que el tiempo progresa la temperatura de las rodajas tiende a alcanzar la temperatura del aire del equipo. En las etapas iniciales del proceso la temperatura de las rodajas es menor que la temperatura del aire debido a que la energía calorífica se utiliza para evaporar el agua superficial. A continuación, se muestran en un mismo gráfico, para cada una de las temperaturas de proceso, la curva de secado y la historia térmica:

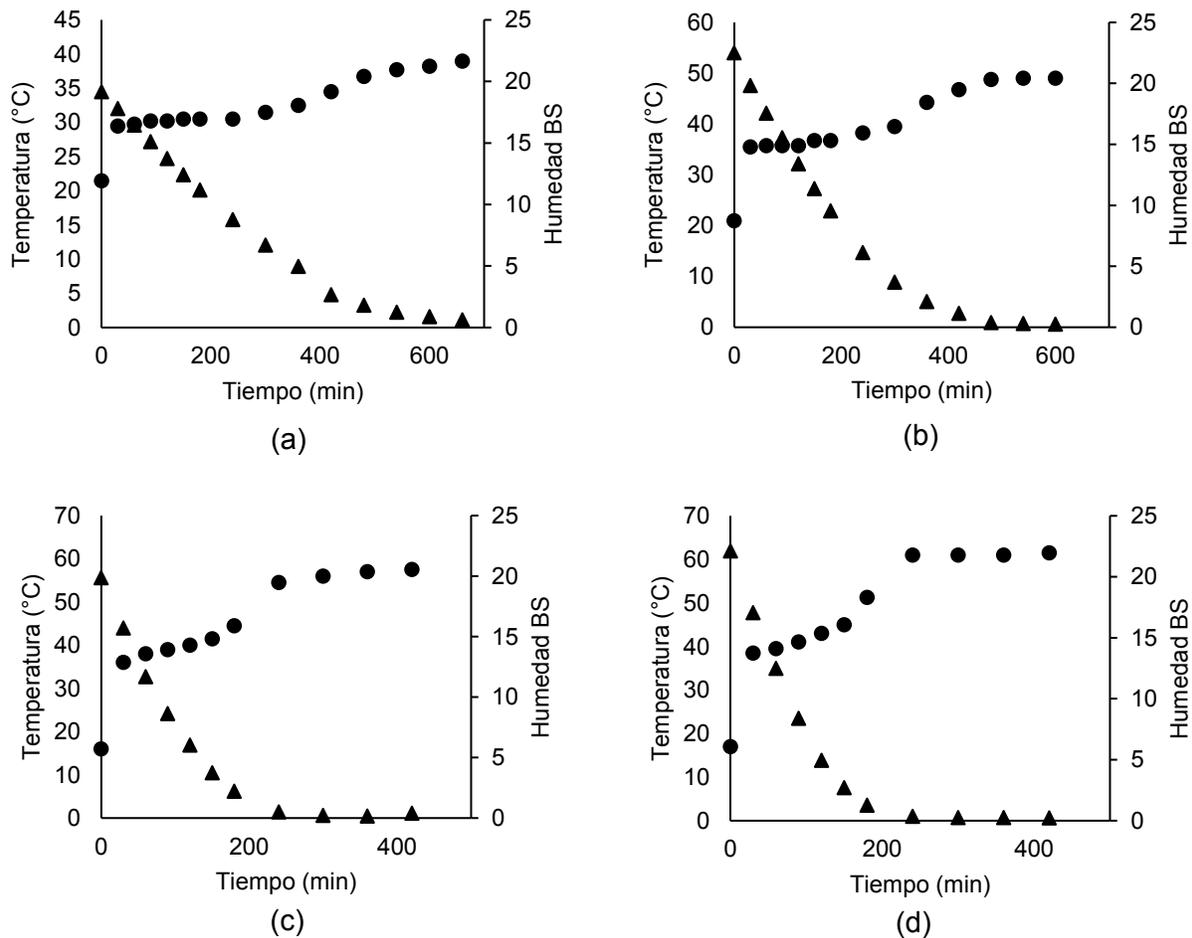


Figura 3.12: Historia térmica y curva de secado de rodajas de tomate perita deshidratadas a (a) 40 °C, (b) 50 °C, (c) 60 °C y (d) 67 °C.

A la temperatura de secado de 40 °C, la temperatura de las rodajas aumenta de 21,5 °C a 30 °C durante los primeros 30 minutos y se mantiene constante hasta el minuto 240, luego aumenta continuamente hasta alcanzar 39,5 °C. El período de velocidad constante

observado a esta temperatura ocurre durante los primeros 180 minutos de secado. A la temperatura de secado de 50 °C, la temperatura de las rodajas aumenta de 21 °C a 35,5 °C durante los primeros 30 minutos y se mantiene esencialmente constante hasta el minuto 120, esto podría indicar un breve período de velocidad constante. La temperatura aumenta continuamente desde el minuto 120, hasta alcanzar 49 °C. A la temperatura de secado de 60 °C, la temperatura de las rodajas aumenta de 16 °C a 36 °C durante los primeros 30 minutos y luego aumenta continuamente hasta 57,5 °C. A la temperatura de secado de 67 °C, la temperatura de las rodajas aumenta de 17 °C a 38,5 °C durante los primeros 30 minutos y luego aumenta continuamente hasta 61,5 °C.

3.3.3 Isoterma de desorción

La isoterma de desorción a 25 °C para rodajas de tomate deshidratadas a 60 °C se muestra en la Figura 3.13:

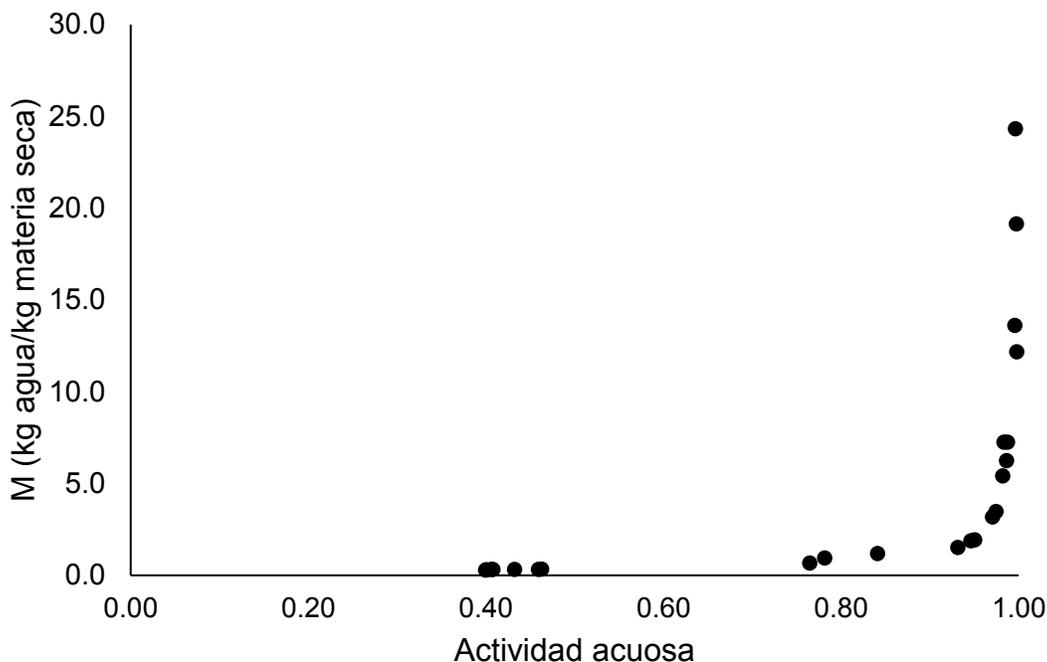


Figura 3.13: Isoterma de desorción a 25 °C. Temperatura de secado de 60 °C

Se observa en la isoterma de desorción que la actividad acuosa cambia muy poco entre las humedades de 24 a 1,9 Kg de agua/ Kg de materia seca ya que solamente se reduce de 0,9963 a 0,9460. A partir de la humedad de 1.5 Kg de agua/ Kg de materia seca la

actividad acuosa comienza a descender y a la humedad de 0,27 Kg de agua/ Kg de materia seca la actividad acuosa alcanza el valor de 0,3994. La forma de "J" en la isoterma es comúnmente observada en productos con alto contenido de azúcares (Demarchi y col., 2013; Korbel y col., 2013).

Las rodajas de tomate perita deshidratadas a 40 °C presentaron una humedad final (Kg de agua/Kg de materia seca) de $0,48 \pm 0,18$ y una a_w de 0,61. Las rodajas deshidratadas a 50 °C, 60 °C y 67 °C presentaron humedades finales (Kg de agua/ Kg de materia seca) de $0,26 \pm 0,11$, $0,16 \pm 0,04$ y $0,24 \pm 0,12$ respectivamente, y actividades acuosas alrededor de 0,4.

La mayoría de bacterias causantes de deterioro no crece a valores de a_w menores a 0,9 mientras que la mayoría de hongos no se desarrolla por debajo de a_w de 0,8. El valor más bajo de a_w reportado para el crecimiento de bacterias en alimentos es 0,75 para los halófilos, mientras que para mohos xerófilos y para levaduras osmófilas se han reportado crecimientos a valores de a_w de 0,65 y 0,61 respectivamente (Montville y col., 2012). Las rodajas de tomate deshidratadas a 50, 60 y 67 °C poseen valores finales de a_w que aseguran su estabilidad microbiológica. Las rodajas deshidratadas a 40 °C presentan una a_w que impide el crecimiento de la mayoría de microorganismos pero que podría permitir el crecimiento de hongos específicos.

Las reacciones químicas que requieren de una fase acuosa como las reacciones de pardeamiento no enzimático, tienen una velocidad relativa mínima usualmente a valores de a_w de 0,2 a 0,3, alcanzan un máximo a a_w de 0,6 a 0,8 y luego su velocidad relativa disminuye hasta llegar a 0 a a_w cercanos a 1. Las reacciones enzimáticas también presentan una velocidad relativa mínima a valores de a_w de 0,2 a 0,3 y luego la velocidad crece continuamente cuando los valores de a_w aumentan hasta acercarse a 1 (Barbosa-Cnovas y col., 2020). Durante el almacenamiento, las rodajas de tomate deshidratadas a 50, 60 y 67 °C que poseen valores finales de a_w cercanos a 0,4 presentarían valores bajos en las velocidades de reacción de pardeamiento enzimático y no enzimático mientras que las rodajas deshidratadas a 40 °C ($a_w = 0,61$) podrían presentar valores altos en la velocidad de este tipo de reacciones.

Adicionalmente, para asegurar la correcta preservación de los productos deshidratados, el almacenamiento debe ser el adecuado; protegiendo al producto de la humedad externa, del oxígeno, de la luz, y de cualquier tipo de contaminación (Barta, 2006).

3.3.4 Modelado matemático

3.3.4.1 Modelo difusivo

Los valores de la difusividad efectiva (D_{eff}) para las cuatro temperaturas de secado, se muestran en la Tabla 3.2. Estos valores se obtuvieron mediante un programa de ajuste realizado en Matlab (MathWorks v 7.14) de la ecuación de Fick para placa plana en su forma de serie infinita (Ecuación 3.6) considerando 100 términos para el ajuste, encontrando el D_{eff} óptimo como el valor que minimizaba la suma de residuos cuadrados entre los valores predichos y los experimentales.

La difusividad efectiva crece de $1,347 \times 10^{-10}$ a $3,963 \times 10^{-10}$ m²/s al aumentar la temperatura de secado de 40 °C a 67 °C. La energía de activación obtenida mediante la ecuación del tipo Arrhenius (Ecuación 3.9) fue de 38,9 KJ/mol y el factor preexponencial D_0 fue $3,88 \times 10^{-4}$ m²/s ($R^2=0.9378$).

Temperatura	D_{eff} (m ² /s)	R^2
40 °C	$1,347 \times 10^{-10}$	0,9037
50 °C	$1,684 \times 10^{-10}$	0,9328
60 °C	$3,530 \times 10^{-10}$	0,9586
67 °C	$3,963 \times 10^{-10}$	0,9579

Tabla 3.2: Valores de D_{eff} y R^2 obtenidos en el ajuste de datos experimentales con el modelo de la segunda Ley de Fick de la difusión

Los valores de D_{eff} obtenidos se encuentran dentro del rango de 10^{-12} a 10^{-8} m²/s para productos alimenticios (Abano y col., 2011) y son cercanos a los valores obtenidos por Doymaz para mitades de tomate (Doymaz, 2007) de $3,91 \times 10^{-10}$ a $6,65 \times 10^{-10}$ m²/s para las temperaturas entre 55 °C y 70 °C.

Se considera a la energía de activación como la barrera energética que debe vencer el agua para comenzar a difundir en el interior del alimento. En la Figura 3.14 se muestra

la gráfica de $1/(T+273,15)$ vs $-\ln D_{eff}$ de la cual se calculó la pendiente para obtener la energía de activación.

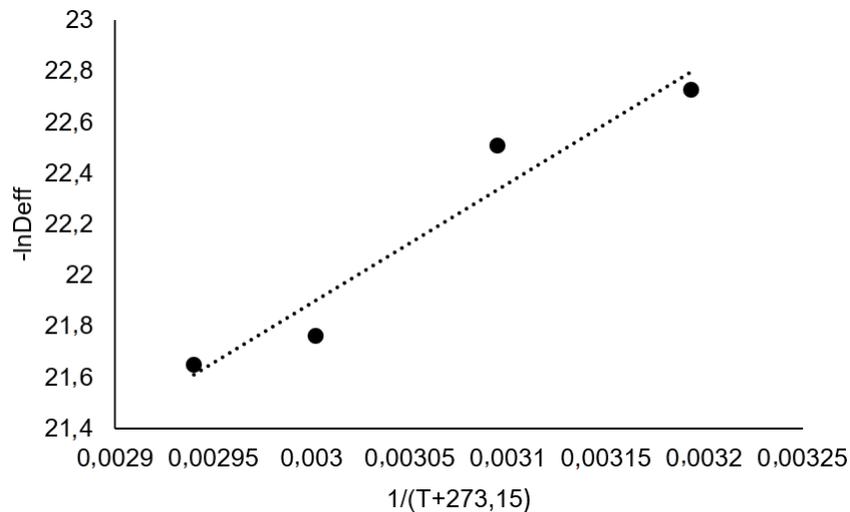


Figura 3.14: Efecto de la temperatura sobre la difusividad efectiva

El valor de E_a de 38,9 KJ/mol obtenido en este capítulo de tesis es cercano al calculado por Doymaz (2007) de 32,94 KJ/mol y es mayor al calculado por Abano y col. (2011) para rodajas de 7 mm de espesor deshidratadas a temperaturas entre 50 °C y 80 °C, el cual fue de 22,25 KJ/mol. En la Tabla 3.3 se muestran distintos valores de E_a para tomate encontrados en la bibliografía junto con el valor obtenido en el presente capítulo.

E_a (KJ/mol)	Rango de T	Veloc. de aire	Espesor	Autores
38,9	40 °C -67 °C	0,03 m/s	5 mm	Vargas, 2021, presente tesis
32,94	55 °C – 70 °C	1,5 m/s	Mitades	(Doymaz, 2007)
22,28	50 °C – 80 °C	1,03 m/s	7 mm	(Abano y col., 2011)
13,56	38 °C – 64 °C	2 m/s	10 mm	(Mariem y Mabrouk, 2014)

Tabla 3.3: Valor de E_a obtenido en el presente capítulo y valores encontrados en la bibliografía.

A continuación, se muestran las curvas de secado con los valores experimentales y los predichos por el modelo de la segunda ley de Fick:

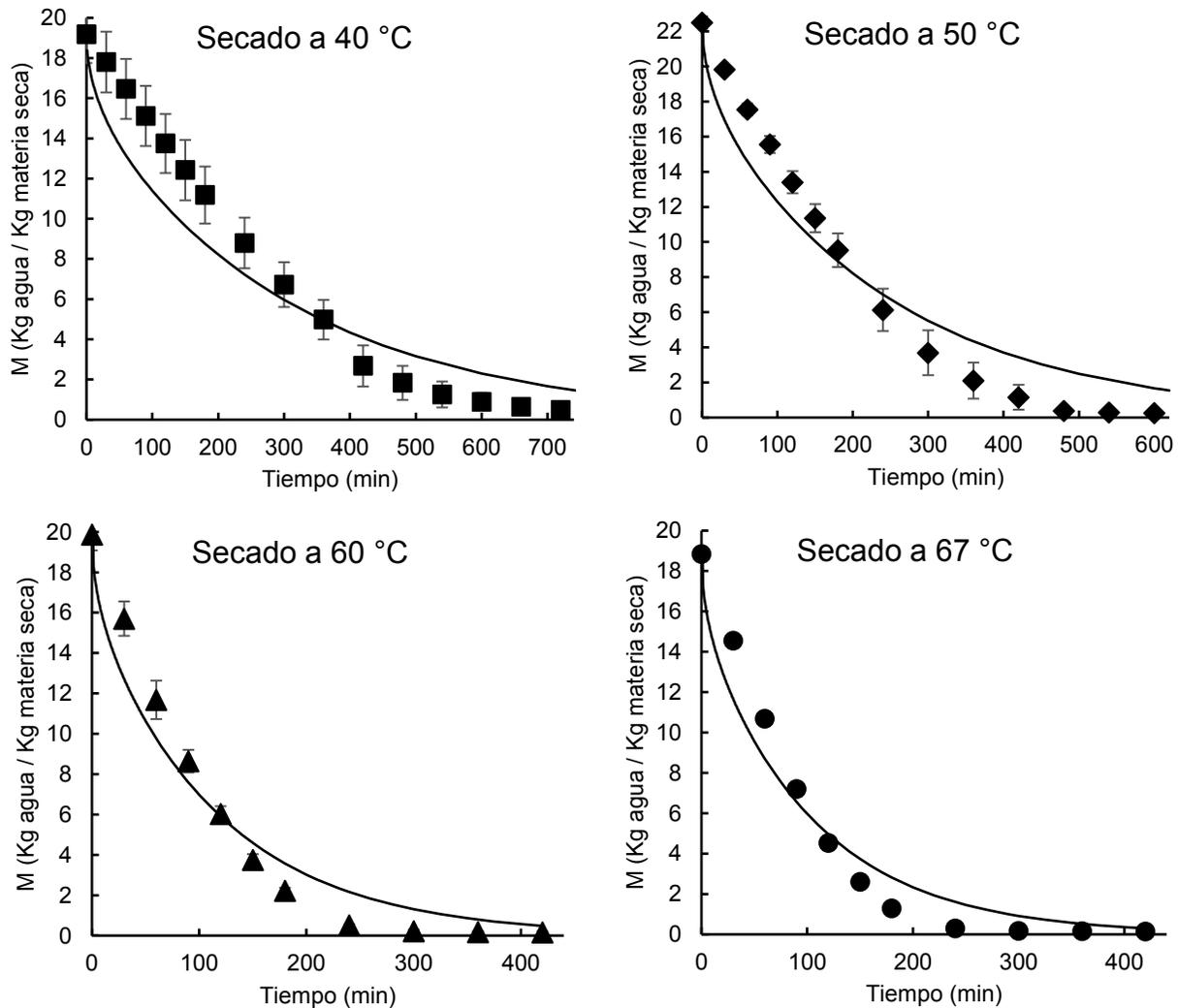


Figura 3.15: Curvas de secado (humedad vs tiempo) con valores experimentales y predichos por la segunda ley de Fick para las temperaturas de 40, 50, 60 y 67 °C.

Los valores del coeficiente de determinación obtenidos para las cuatro temperaturas van de 0,9037 a 0,9586 y son mayores a los obtenidos por Abano y col. (2011) en el modelado del secado de rodajas de tomate de 7 mm de espesor con la ecuación de la segunda ley de Fick que fueron entre 0,8407 y 0,9152. Tal como puede apreciarse en la Figura 3.15, la calidad del ajuste mejora a medida que aumenta la temperatura, encontrándose los ajustes más satisfactorios a las temperaturas más altas, las cuales

son particularmente de interés para el desarrollo del producto propuesto en la presente tesis. No obstante, hay ciertos aspectos, como el encogimiento que experimenta la rodaja durante el proceso, que pueden afectar el ajuste en todos los casos. Al respecto, considerando los espesores finales obtenidos en cada tratamiento térmico de 1,3, 1,2, 1,1 y 0,9 mm para 40, 50, 60 y 67 °C, respectivamente, se estimaron porcentajes de encogimiento de entre 74 a 82% a medida que aumenta la temperatura del aire, los cuales son valores considerables. Con respecto al encogimiento diametral, se estimó una reducción de alrededor de 15%, muy inferior al obtenido para el espesor. Por tanto, aunque los ajustes presentados en este trabajo incluyen solo los valores de humedad, se está trabajando en el desarrollo de un modelo que considere la contracción volumétrica de las rodajas y combine los balances de materia y energía. Este modelo, resuelto mediante un método numérico se prevé permitirá un ajuste más preciso y realista de los fenómenos que tienen lugar durante el proceso de secado del tomate.

3.3.4.2 Modelo de Page

Los coeficientes de determinación para el ajuste de los datos experimentales con el modelo de Page (Ecuación 3.8) y los valores de las constantes k y n para las cuatro temperaturas de secado, se muestran en la Tabla 3.4.

Temperatura	k	n	R^2
40 °C	0,0008	1,2845	0,9924
50 °C	0,0014	1,2651	0,9932
60 °C	0,0036	1,2277	0,9980
67 °C	0,0045	1,2001	0,9975

Tabla 3.4: Valores de R^2 y de las constantes k y n del modelo de Page obtenidos en el ajuste de datos experimentales de las distintas temperaturas de secado.

El valor de la constante k aumenta con la temperatura de secado. La energía de activación obtenida a partir de la ecuación del tipo Arrhenius (Ecuación 3.10) fue de 60,1 KJ/ mol, valor considerablemente mayor al obtenido a partir de las difusividades efectivas de la segunda ley de Fick. Esto último guarda relación con que, en este caso, el valor de energía de activación fue obtenido mediante una relación, no de los coeficientes de

difusión sino de las constantes cinéticas del modelo de Page, las cuales no necesariamente poseen el mismo significado que D_{eff} .

Los valores de R^2 de 0,9924 a 0,9980 indican un muy buen ajuste de los datos al modelo de Page. Distintos autores han encontrado resultados similares al aplicar el modelo de Page para describir el secado de tomate (Abano y col., 2011; Gaware y col., 2010; Mariem y Mabrouk, 2014). A continuación, se muestran las curvas de secado con los valores experimentales y con los predichos por este modelo:

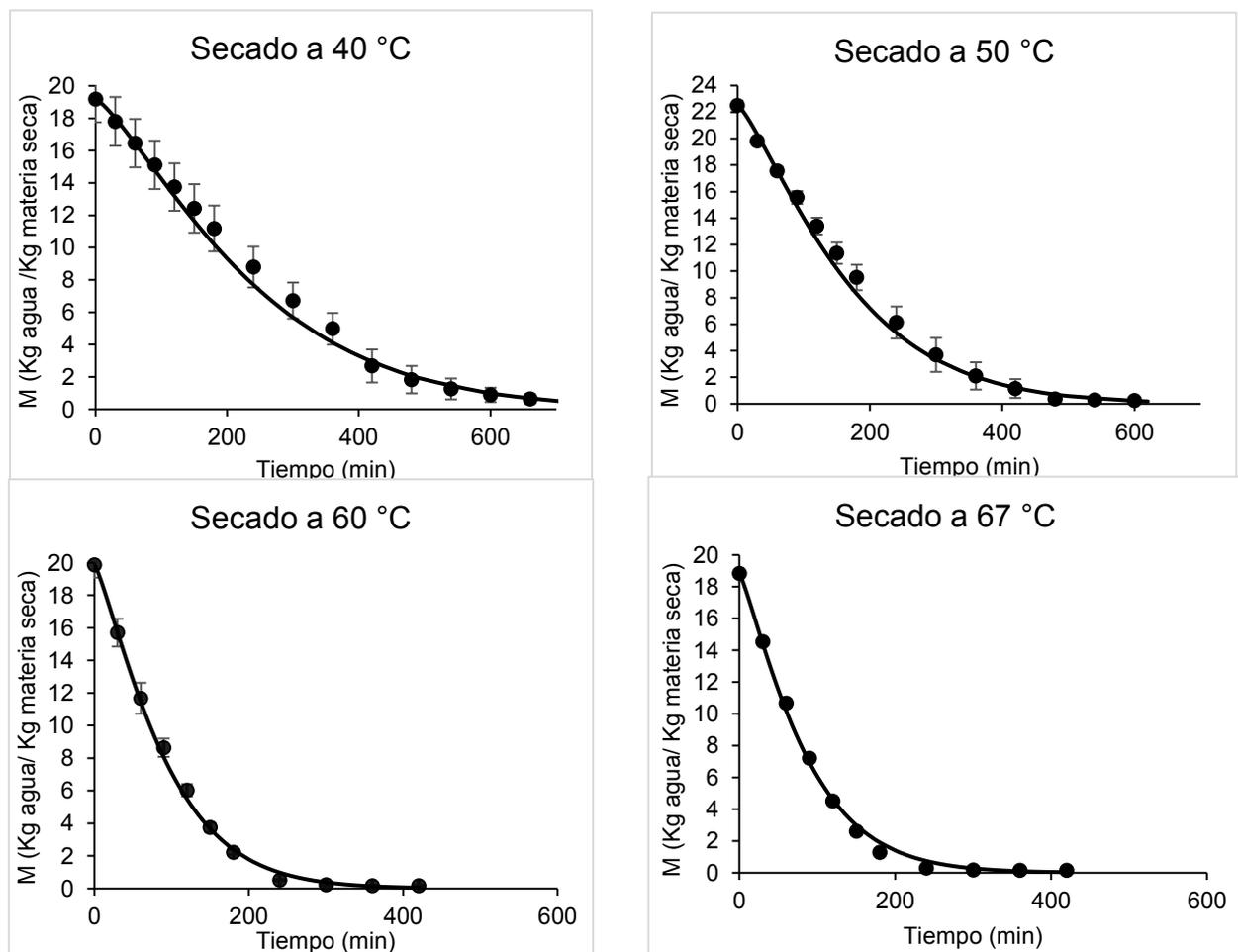


Figura 3.16: Curvas de secado (humedad vs tiempo) con valores experimentales y predichos por el modelo de Page para las temperaturas de 40, 50, 60 y 67 °C

Puede observarse a partir de las figuras y de los valores de R^2 que el modelo de Page describe muy bien las curvas de secado de las rodajas de tomate perita de 5 mm de espesor a las temperaturas de 40 °C, 50 °C, 60 °C y 67 °C.

Si bien los ajustes obtenidos por el modelo de Page resultan más precisos, este tipo de ecuaciones semi empíricas, pueden no describir el mecanismo por el cual se desarrollan los diferentes fenómenos que tienen lugar durante el secado. Por tanto, representan una herramienta útil desde el punto de vista práctico y a fines comparativos. Si, como se propone en la investigación el objetivo principal es profundizar y mejorar el conocimiento de los procesos, los modelos con sustento físico como el difusivo suelen ser los más apropiados.

3.4 Conclusiones

- Al aumentar la temperatura de 40 °C a 67 °C, la velocidad de secado aumenta y el tiempo total disminuye de 720 a 420 minutos.
- A la temperatura de 40 °C tanto la curva de secado como la historia térmica de las rodajas de tomate indican un período de velocidad constante cuando la humedad disminuye de 19 a 12 Kg agua/ Kg materia seca. A 50 °C la historia térmica de las rodajas podría indicar un breve período de velocidad constante. A 60 °C y 67 °C se observan únicamente periodos de velocidad decreciente.
- Las rodajas de tomate perita deshidratadas a 50 °C, 60 °C y 67 °C presentan valores finales de actividad acuosa (0,4) que aseguran su estabilidad microbiológica y además reducen la velocidad relativa de las reacciones de pardeamiento durante el almacenamiento. Las rodajas deshidratadas a 40 °C presentan actividad acuosa (0,61) que impide el crecimiento de la mayoría de microorganismos por lo que también tendrían estabilidad microbiológica pero que podría favorecer las reacciones de pardeamiento durante el almacenamiento.

- Al aplicar el modelo de la segunda ley de Fick para describir las curvas de secado de rodajas de tomate perita se obtuvieron coeficientes de determinación de 0,9037 a 0,9586. Los mejores ajustes se obtuvieron a las temperaturas de 60 °C y 67 °C lo cual coincide con que a estas temperaturas solo se encontraron períodos de velocidad decreciente en los cuales la difusión es el mecanismo que gobierna el movimiento de humedad.
- Los valores de la difusividad efectiva encontrados aumentan de $1,347 \times 10^{-10}$ a $3,963 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ al aumentar la temperatura de 40 °C a 67 °C. La energía de activación calculada fue de 38,908 KJ/mol. Los valores de las difusividades efectivas y el de la E_a son similares a los determinados en distintas investigaciones citadas en la bibliografía.
- El modelo de Page describe muy bien las cinéticas de secado de tomate. En esta investigación se obtuvieron coeficientes de determinación entre 0,9924 y 0,9980 al aplicar el modelo en el ajuste de datos experimentales obtenidos en el secado de rodajas de tomate perita de 5 mm de espesor a temperaturas de 40 °C, 50 °C, 60 °C y 67 °C.

3.5 Referencias bibliográficas

- Abano, E., Ma, H., & Qu, W. (2011). Influence of Air Temperature on the Drying Kinetics and Quality of Tomato Slices. *Journal of Food Processing & Technology*, 02(05).
<https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000123>
- Akanbi, C. T., Adeyemi, R. S., & Ojo, A. (2006). Drying characteristics and sorption isotherm of tomato slices. *Journal of Food Engineering*, 73(2), 157–163.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.015>
- Andrade, R. D. P., Roberto, L. M., & Pérez, C. E. C. (2011). Models of sorption isotherms for food: Uses and limitations. *Vitae*, 18(3), 325–334.
- Ashebir, D., Jezik, K., Weingartemann, H., & Gretzmacher, R. (2009). Change in color

and other fruit quality characteristics of tomato cultivars after hot-air drying at low final-moisture content. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(SUPPL. 7), 308–315. <https://doi.org/10.1080/09637480903114128>

Barbosa-Cnovas, G. V., Fontana, A. J., Schmidt, S. J., & Labuza, T. P. (2020). *Water Activity in Foods* (G. V. Barbosa-Cánovas, A. J. Fontana, S. J. Schmidt, & T. P. Labuza (eds.)). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118765982>

Barta, J. (2006). Fruit Drying Principles. In Y. H. Hui, N. K. Sinha, J. S. Sidhu, J. Barta, M. P. Cano, & T. W. Gusek (Eds.), *Handbook of Fruits and Fruit Processing* (First Edit, pp. 81–93). Blackwell Publishing.

Basu, S., Shivhare, U. S., & Mujumdar, A. S. (2006). Models for Sorption Isotherms for Foods: A Review. *Drying Technology*, 24(8), 917–930. <https://doi.org/10.1080/07373930600775979>

Correia, A. F. K., Loro, A. C., Zanatta, S., Spoto, M. H. F., & Vieira, T. M. F. S. (2015). Effect of temperature, time, and material thickness on the dehydration process of tomato. *International Journal of Food Science*, 2015, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2015/970724>

Demarchi, S.M., Torrez Irigoyen, R.M., Giner, S.A. (2018). Vacuum drying of rosehip leathers: Modelling of coupled moisture content and temperature curves as a function of time with simultaneous time-varying ascorbic acid retention. *Journal of Food Engineering*, 233, 9-16.

Demarchi, S. M., Quintero Ruiz, N. A., De Michelis, A., & Giner, S. A. (2013). Sorption characteristics of rosehip, apple and tomato pulp formulations as determined by gravimetric and hygrometric methods. *LWT - Food Science and Technology*, 52(1), 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.12.007>

Demiray, E., Tulek, Y., & Yilmaz, Y. (2013). Degradation kinetics of lycopene, β -carotene and ascorbic acid in tomatoes during hot air drying. *LWT - Food Science and Technology*, 50(1), 172–176. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.06.001>

Doran, P. M. (2013). Unit Operations. In *Bioprocess Engineering Principles* (Second

- Edi, Vol. 1, pp. 445–595). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-220851-5.00011-3>
- Doymaz, I. (2005). Drying characteristics and kinetics of okra. *Journal of Food Engineering*, 69(3), 275–279. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.08.019>
- Doymaz, I. (2007). Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1291–1297. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.047>
- Erbay, Z., & Icier, F. (2010). A review of thin layer drying of foods: Theory, modeling, and experimental results. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5), 441–464. <https://doi.org/10.1080/10408390802437063>
- Gaware, T. J., Sutar, N., & Thorat, B. N. (2010). Drying of tomato using different methods: Comparison of dehydration and rehydration kinetics. *Drying Technology*, 28(5), 651–658. <https://doi.org/10.1080/07373931003788759>
- Geankoplis, C. J. (2003). *Transport Processes and Separation Process Principles*. Pearson Education.
- Genskow, L. R., Beimesch, W. E., Hecht, J. P., Kemp, I. C., Langrish, T., Schwartzback, C., & Smith, L. (2007). Psychrometry, Evaporative Cooling, and Solids Drying. In D. W. Green & R. H. Perry (Eds.), *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (8th editio, p. Section 12). McGraw-Hill.
- Ghasemi, A., & Chayjan, R. A. (2019). Numerical simulation of vitamin C degradation during dehydration process of fresh tomatoes. *Journal of Food Process Engineering*, 42(6), 1–12. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13189>
- Grau, R., Andres, A., & Barat, J. M. (2015). Principles of Drying. In *Handbook of Fermented Meat and Poultry: Second Edition* (pp. 31–38). <https://doi.org/10.1002/9781118522653.ch5>
- Kaur, R., Kaur, K., & Ahluwalia, P. (2020). Effect of drying temperatures and storage on chemical and bioactive attributes of dried tomato and sweet pepper. *LWT - Food Science and Technology*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108604>

- Korbel, E., Attal, E.-H., Grabulos, J., Lluberas, E., Durand, N., Morel, G., Goli, T., & Brat, P. (2013). Impact of temperature and water activity on enzymatic and non-enzymatic reactions in reconstituted dried mango model system. *European Food Research and Technology*, 237(1), 39–46. <https://doi.org/10.1007/s00217-013-2026-6>
- Lopez, A., Iguaz, A., Esnoz, A., & Virseda, P. (2000). Thin-layer drying behaviour of vegetable wastes from wholesale market. *Drying Technology*, 18(4–5), 995–1006. <https://doi.org/10.1080/07373930008917749>
- Maisnam, D., Rasane, P., Dey, A., Kaur, S., & Sarma, C. (2017). Recent advances in conventional drying of foods. *J Food Technol Pres*, 1(1), 25–34.
- Mariem, S. Ben, & Mabrouk, S. Ben. (2014). Drying Characteristics of Tomato Slices and Mathematical Modeling. *International Journal of Energy Engineering* 2014, 4(2A), 17–24. <https://doi.org/10.5923/j.ijee.201401.03>
- Mathlouthi, M. (2001). Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. *Food Control*, 12(7), 409–417. [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(01\)00032-9](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(01)00032-9)
- Montville, T. J., Matthews, K. R., & Kniel, K. E. (2012). *Food Microbiology* (Montville, Matthews, & Kniel (eds.); Third Edit). American Society of Microbiology. <https://doi.org/10.1128/9781555817206>
- Mujumdar, A. S. (2006). Principles, Classification, and Selection of Dryers. In A. S. Mujumdar (Ed.), *Handbook of Industrial Drying* (Third edit, pp. 4–31). Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9780429289774>
- Ochoa-Reyes, E., Ornelas-Paz, J. D. J., Ruiz-Cruz, S., Ibarra-Junquera, V., Pérez-Martínez, J. D., Guevara-Arauza, J. C., & Aguilar, C. N. (2013). TECNOLOGÍAS DE DESHIDRATACIÓN PARA LA PRESERVACIÓN DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *BIOtecnia*, 15(2), 39–46. <https://doi.org/10.18633/bt.v15i2.148>
- Rafiee, S., Sharifi, M., Keyhani, A., Omid, M., Jafari, A., Mohtasebi, S. S., & Mobli, H. (2010). Modeling effective moisture diffusivity of orange slice (Thompson Cv.).

International Journal of Food Properties, 13(1), 32–40.

<https://doi.org/10.1080/10942910802144345>

Senadeera, W., Bhandari, B. R., Young, G., & Wijesinghe, B. (2003). Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidized bed drying. *Journal of Food Engineering*, 58(3), 277–283.

[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00386-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00386-2)

Torrez Irigoyen, R.M., Goñi, S.M., Giner, S.A. (2014). Drying–toasting kinetics of presoaked soybean. A mathematical model considering variable diffusivity, shrinkage and coupled heat transfer. *Journal of Food Engineering*, 142, 70-79.

U.S. Food and Drug Administration. (1998). Guidance for industry: Guide to minimize microbial food safety hazards for fresh fruits and vegetables. In *Federal Register*, October.

CAPÍTULO 4

DETERMINACIÓN DE LICOPENO

4.1 Introducción

El licopeno es un fitoquímico liposoluble miembro de la familia de los carotenoides. Es responsable del color rojo de muchas frutas y verduras, incluyendo al tomate (Rao y Rao, 2007). A diferencia de otros carotenoides, el licopeno carece de actividad provitamina A, debido a la ausencia del anillo β -ionona en su estructura (Shi y Maguer, 2000). La estructura química del licopeno consiste en una cadena hidrocarbonada alifática poliinsaturada; contiene 11 dobles enlaces conjugados y 2 dobles enlaces no conjugados (Figura 4.1). Siete de los dobles enlaces pueden existir en ambas formas isoméricas, *cis* y *trans*, sin embargo en la mayoría de los alimentos el licopeno se encuentra principalmente en la configuración todo-*trans* (Shi y col., 1999). La luz, la energía térmica y las reacciones químicas pueden causar mono o poli isomerización hacia configuraciones *cis* (Clinton, 1998). Debido al alto número de dienos conjugados en su estructura, la capacidad del licopeno como desactivador del oxígeno singulete es aproximadamente dos veces mayor que la del β -caroteno y unas diez veces mayor que la de la vitamina E (Burton-Freeman y Reimers, 2011). Como uno de los antioxidantes más potentes en los alimentos, el licopeno ha atraído la atención de científicos y profesionales de la salud por su potencial para reducir el riesgo de enfermedades y promover la salud.

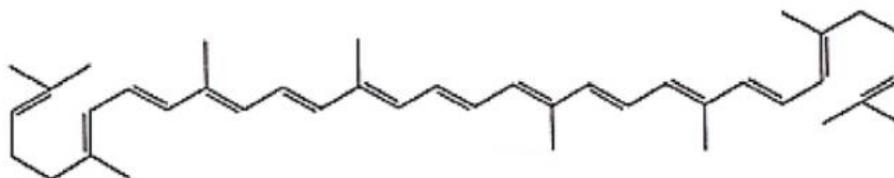


Figura 4.1: Estructura química del licopeno. Fuente: Rao, A. V., y Rao, L. G. (2007). Carotenoids and human health. Pharmacological Research.

El tomate y los productos derivados son la mayor fuente de licopeno en la dieta humana (Rao y Rao, 2007). De acuerdo con datos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, el tomate contiene aproximadamente 2570 μg de licopeno por cada 100g de producto fresco (USDA, 2018) pero esta composición puede variar significativamente dependiendo de la variedad, del estado de madurez, de las

condiciones climáticas y de las condiciones de cultivo del fruto. La síntesis de pigmentos en tomates está correlacionada con la maduración y el color rojo del tomate resulta de la acumulación de licopeno por lo que se ha sugerido que el contenido de este fitoquímico es un buen indicador del estado de madurez (Duma y col., 2015). De acuerdo con Shi y Maguer (2000) el contenido de licopeno en tomate fresco varía de 0,72 mg/100 g en variedades amarillas a 20 mg/ 100 g en variedades rojo oscuro.

El licopeno posee asociados múltiples beneficios para la salud humana. Debido a su capacidad de atrapar las especies reactivas del oxígeno, protege los lípidos, las proteínas y el ADN del daño oxidativo. Evidencia creciente muestra una correlación inversa entre el consumo de tomate y el riesgo de padecer cáncer por lo que el licopeno es considerado un agente potencial para la prevención de algunos tipos de cáncer, como cáncer de próstata (Alda y col., 2009), cáncer de ovario (Sahin y col., 2018), cáncer de pulmón (Palozza y col., 2011) y cáncer de mama (Takeshima y col., 2014). El potencial del licopeno en la quimioprevención de cáncer se debe a mecanismos antioxidantes y antiinflamatorios (Sahin y col., 2018). También se ha asociado la ingesta de licopeno con un menor riesgo de enfermedad cardiovascular (Story y col., 2010) y otras enfermedades mediadas por el estrés oxidativo como hipertensión, aterosclerosis, desorden neurodegenerativo, entre otras (Caseiro y col., 2020). Aunque los estudios epidemiológicos son promisorios, aún se requiere de investigación más profunda para evaluar la bioactividad del licopeno en la prevención de cáncer con máximo rigor (Sahin y col., 2019).

Los procesos térmicos generalmente causan pérdidas en el contenido total de licopeno, principalmente a causa de la oxidación (Shi y Maguer, 2000); estas pérdidas pueden causar alteraciones en la calidad sensorial de los productos y en sus potenciales beneficios para la salud. Sin embargo, a pesar del riesgo de una disminución en el contenido neto del antioxidante, el procesamiento del tomate puede favorecer su *biodisponibilidad* al debilitar o romper las paredes celulares haciendo que el licopeno se encuentre más accesible en los tejidos vegetales y al favorecer la isomerización *cis* ya que los estereoisómeros *cis*-licopeno son más fácilmente absorbidos por la pared intestinal (Burton-Freeman y Reimers, 2011). En consecuencia, la selección de las

condiciones de procesamiento del tomate tendrá un impacto importante en el contenido, calidad y bio-accesibilidad del licopeno en los productos (Caseiro y col., 2020). Con base en lo anterior, para el presente capítulo se plantean los siguientes objetivos:

- Determinar el contenido de licopeno presente en tomate perita en estado fresco y en rodajas deshidratadas a distintas temperaturas (40 °C, 50°C, 60 °C y 67 °C).
- Evaluar el efecto de la temperatura de deshidratación y seleccionar aquella que promueva una mayor concentración de este bioactivo en el producto final.

4.2 Materiales y métodos

4.2.1 Materiales

- Tomate perita fresco: se trabajó con tres muestras representativas del lote de materia prima (Capítulo 2), que se mantuvieron congeladas a -40 °C hasta el momento de la extracción de licopeno.
- Rodajas de tomate perita deshidratadas a 40 °C, 50°C, 60 °C y 67 °C: se muestrearon los productos finales obtenidos en cada tanda de secado (Capítulo 3), los cuales se conservaron a -40 °C hasta el momento de la extracción.
- Hexano grado ACS, marca J.T. Baker.
- Acetona grado ACS, marca Cicarelli.
- Etanol grado ACS, marca Cicarelli.

4.2.2 Metodología

4.2.2.1 Extracción de licopeno y medición de absorbancia

Se determinó el contenido de licopeno en las muestras siguiendo el método propuesto por Cote y col. (2013). Se prepararon 100 mL de solvente, mezclando 50 mL de hexano con 25 mL de acetona y 25 mL de etanol (2:1:1). El solvente se guardó en un recipiente opaco y hermético. Las muestras congeladas de tomate fresco y de rodajas de tomate deshidratadas a 40 °C, 50°C, 60 °C y 67 °C fueron trituradas en un molinillo marca PEABODY (mod. PE-MC9100). Se pesaron aproximadamente 0,1 g del polvo resultante

dentro de un tubo de extracción, en una balanza analítica marca OHAUS (mod. PA214) con capacidad de 210 g y una precisión de 0,0001 g. Se añadieron 5 mL del solvente y la mezcla fue sometida a agitación en un vortex marca Heathrow Scientific (mod. Vortexer) durante 15 minutos, se añadió 1 mL de agua y se agitó durante 5 minutos más, luego se dejó reposar y se extrajo cuidadosamente la fase superior con una micropipeta automática. El extracto proveniente de la muestra fresca se diluyó con el solvente en un factor de 1/2, mientras que los extractos provenientes del resto de las muestras fueron diluidos en un factor de 1/5. Se determinó la absorbancia de los extractos diluidos a 503 nm en un espectrofotómetro SHIMADZU (Mod.UVmini-1240). Las extracciones se realizaron por triplicado.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.2: (a) Molinillo PEABODY (mod. PE-MC9100); (b) Vortex Heathrow Scientific (mod. Vortexer); (c) Espectrofotómetro SHIMADZU (Mod.UVmini-1240), (d) Extractos de licopeno en solvente hexano: acetona: etanol (2:1:1).

4.2.2.2 Medición de humedad

Se corroboró experimentalmente, por triplicado, el contenido de humedad de las muestras utilizadas para la extracción de licopeno, a modo de poder expresar los resultados en base seca. La humedad se determinó por diferencia de peso en estufa a 135°C durante 3 h, según el método descrito por la AOAC (método 984.25, AOAC, 1998), tal como se describió en el Capítulo 2 (Sección 2.2.2.1).

4.2.2.3 Cálculo de resultados

Las concentraciones de licopeno fueron calculadas con la ley de Lambert-Beer (Ecuación 4.1), utilizando un coeficiente de extinción molar $\varepsilon = 172.000 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (Taber y col., 2008). Para expresar los resultados en mg de licopeno por cada 100 g de producto se utilizó una masa molar de $536,87 \text{ g mol}^{-1}$.

Ley de Lambert-Beer:

$$A = \varepsilon \cdot c \cdot l \quad (4.1)$$

En donde: A representa la absorbancia, ε representa el coeficiente de extinción molar, c la concentración molar de licopeno y l la longitud de paso óptico (1 cm).

4.2.2.4 Análisis de resultados

Se aplicó análisis de varianza (ANOVA) monofactorial para estudiar el efecto del secado sobre la concentración de licopeno en las muestras. Las medias se compararon con el test de la mínima diferencia significativa de Fisher con un nivel de significancia de 0,05. Se utilizó el software estadístico InfoStat (Universidad Nacional de Córdoba, 2020).

4.3 Resultados y discusión

El contenido de licopeno presente en las muestras, expresado en mg por cada 100 g de materia seca, se presenta en la Tabla 4.1 y en la Figura 4.3. En la muestra de tomate perita fresco se encontraron 164 mg de licopeno por cada 100 g de materia seca, lo cual equivale a 8,8 mg de licopeno por cada 100 g de tomate fresco (95% de humedad). Se observa un menor contenido neto del antioxidante en todas las muestras deshidratadas.

Tipo de muestra	Licopeno (mg/100g base seca)
M. fresca	164,0 ± 5,0 a
M. 67 °C	65,1 ± 6,7 b
M. 60 °C	46,4 ± 4,4 c
M. 50 °C	27,7 ± 2,7 d
M. 40 °C	49,1 ± 0,8 c

Tabla 4.1: Contenido medio de licopeno en las muestras (± desvío estándar), expresado en mg por cada 100 g de materia seca. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias.

La menor disminución en el contenido de licopeno se observa en las muestras deshidratadas a 67 °C; a esta temperatura se conserva aproximadamente 40% del antioxidante presente en la muestra fresca; a las temperaturas de 60°C y 40 °C se conserva aproximadamente el 30% y a 50 °C se conserva alrededor del 17%.

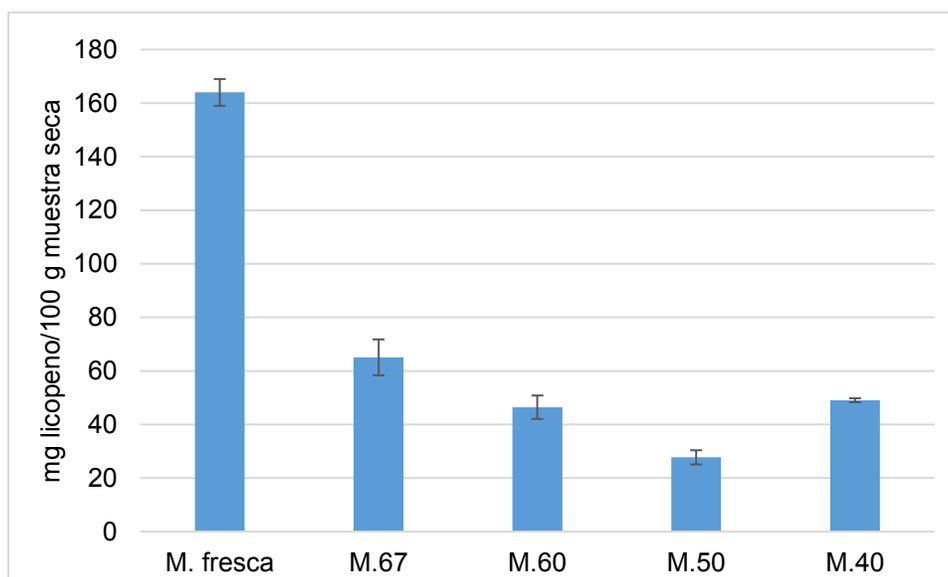


Figura 4.3: Contenido medio de licopeno expresado en mg por cada 100 g de muestra seca. Las barras de error indican la desviación estándar de 3 repeticiones.

Shi y col. (1999) encontraron que la deshidratación convencional con aire disminuye significativamente la retención de licopeno en muestras de tomate. Este efecto lo atribuyen a la influencia del calor y oxígeno; el tratamiento térmico deteriora los tejidos

del tomate y aumenta la exposición al oxígeno y la luz, lo cual resulta en destrucción del licopeno. Hasturk Sahin y col. (2011) estudiaron el efecto de distintos métodos de secado en el contenido de licopeno de rodajas de tomate de 15 mm de espesor; en tomate fresco encontraron 145,29 mg de licopeno/ 100 g de materia seca y después de someter las rodajas a secado con aire caliente a una velocidad de aire de 1,5 m/s, a las temperaturas de 65 °C, 75 °C y 85 °C observaron que el contenido de licopeno disminuye, respectivamente, a 43,85, 24,53 y 27,88 mg de licopeno/ 100 g de materia seca, representando una retención del licopeno inicial de 30,18%, 16,85% y 19,16%. Las muestras deshidratadas a 85 °C contenían una mayor cantidad del antioxidante que las muestras deshidratadas a 75 °C ($p < 0,05$) por lo que concluyen que además de la temperatura, el tiempo de procesamiento es un factor importante en la degradación de licopeno (Hasturk Sahin y col., 2011).

En los resultados obtenidos en el presente capítulo, la mayor retención del antioxidante a la temperatura más alta puede deberse a que el tiempo de proceso es más corto y por tanto también la exposición a condiciones que favorecen la oxidación y deterioro del licopeno. El tiempo de deshidratación más largo fue el de 40 °C (720 min) sin embargo al ser la temperatura más baja, el deterioro del antioxidante es más leve. A 60 °C las condiciones para el deterioro del antioxidante son favorables pero el tiempo de proceso (480 min) es mucho menor que a 40 °C; en las muestras deshidratadas a estas temperaturas, se obtuvieron resultados similares, sin diferencia significativa ($p > 0,05$). El menor contenido de licopeno en la muestra deshidratada a 50 °C puede deberse a que a esta temperatura las condiciones de deterioro del antioxidante son favorables y el tiempo de procesamiento es largo (600 min), únicamente menor que a 40 °C. Santos-Sánchez y col. (2012) obtuvieron resultados comparables al estudiar distintas condiciones de secado en rodajas de tomate de 6 mm de espesor; ellos encontraron que al deshidratar las rodajas a una velocidad de aire de 0,6 m/s, a las temperaturas de 45 °C, 50 °C y 60 °C, la mayor retención de licopeno (90%) se obtenía a la mayor temperatura y a 50 °C, temperatura intermedia, se obtenía la menor retención (72%); a 40 °C la retención fue de 76% (Santos-Sánchez y col., 2012).

En el presente capítulo, en el rango de temperaturas de 50 °C a 67 °C, el efecto del tiempo de proceso en la degradación del licopeno es mayor al efecto de la temperatura. Esto puede explicarse a través de las cinéticas de reacción. A mayor valor de E_a , mayor debe ser el cambio en la temperatura para generar un aumento en la velocidad de reacción. Demiray y col (2013) estudiaron la cinética de degradación del licopeno en cuartos de tomate durante el secado a temperaturas entre 60 y 100 °C y encontraron un valor de E_a de 46,96 KJ/mol. Este valor es mayor a los valores de E_a para las cinéticas de secado encontrados en la bibliografía (Abano y col., 2011; Doymaz, 2007; Mariem y Mabrouk, 2014) lo cual indicaría que un aumento en la temperatura tendría un mayor efecto en la velocidad de secado que en la velocidad de degradación de licopeno.

4.4 Conclusiones

- El contenido de licopeno encontrado en las muestras de tomate perita fresco fue de 164 mg por cada 100 g de materia seca, equivalente a 8,8 mg por cada 100 g del fruto. Este resultado se encuentra dentro del rango reportado por Shi y Maguer (2000) y es similar al valor encontrado por Hasturk Sahin y col. (2011) de 145,29 mg/ 100 g de materia seca.
- El contenido neto del antioxidante fue menor en todas las muestras deshidratadas con respecto a las muestras de tomate perita fresco. Esto indica que hay deterioro del licopeno durante el proceso de deshidratación. La mayor retención de licopeno se obtuvo en el proceso a 67 °C; a esta temperatura se retuvo cerca del 40% del antioxidante presente en la muestra fresca.
- La temperatura y el tiempo son factores cruciales en la conservación o pérdida del licopeno durante el proceso de deshidratación. En este capítulo de tesis se determinó que la mayor retención del antioxidante ocurre en el proceso más corto, esto debido al menor tiempo de exposición a condiciones favorables para la oxidación. Sin embargo, la pérdida de licopeno fue considerable, cerca del 60%.

- En las condiciones de secado utilizadas (Capítulo 3), en el rango de temperaturas de 50 °C a 67 °C, el efecto del tiempo de proceso en la degradación del licopeno es mayor al efecto de la temperatura. A 50 °C (600 min) la retención de licopeno es del 17%, a 60 °C (480 min) es del 30% y 67 °C (420 min) la retención es del 40%.

4.5 Referencias bibliográficas

Abano, E., Ma, H., & Qu, W. (2011). Influence of Air Temperature on the Drying Kinetics and Quality of Tomato Slices. *Journal of Food Processing & Technology*, 02(05). <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000123>

Alda, L. M., Gogoasă, I., Bordean, D., Gergen, I., Alda, S., Moldovan, C., & Niță, L. (2009). Lycopene content of tomatoes and tomato products. *Journal of Agroalimentary Process and Technologies*, 15(4), 540–542.

Burton-Freeman, B., & Reimers, K. (2011). Tomato Consumption and Health: Emerging Benefits. *American Journal of Lifestyle Medicine*, 5(2), 182–191. <https://doi.org/10.1177/1559827610387488>

Caseiro, M., Ascenso, A., Costa, A., Creagh-Flynn, J., Johnson, M., & Simões, S. (2020). Lycopene in human health. *LWT*, 127. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109323>

Clinton, S. K. (1998). Lycopene: Chemistry, biology, and implications for human health and disease. *Nutrition Reviews*, 56(2), 35–51. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1998.tb01691.x>

Cote, S., Rodoni, L., Miceli, E., Concellón, A., Civello, P. M., & Vicente, A. R. (2013). Effect of radiation intensity on the outcome of postharvest UV-C treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 83, 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.03.009>

Demiray, E., Tulek, Y., & Yilmaz, Y. (2013). Degradation kinetics of lycopene, β -

- carotene and ascorbic acid in tomatoes during hot air drying. *LWT - Food Science and Technology*, 50(1), 172–176. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.06.001>
- Doymaz, I. (2007). Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1291–1297. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.047>
- Duma, M., Alsina, I., Dubova, L., & Erdberga, I. (2015). Chemical composition of tomatoes depending on the stage of ripening. *CHEMINÉ TECHNOLOGIJA*, 24–28. <https://doi.org/10.5755/j01.ct.66.1.12053>
- Hasturk Sahin, F., Aktas, T., Orak, H., & Ulger, P. (2011). Influence of pretreatments and different drying methods on color parameters and lycopene content of dried tomato. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 17(6), 867–881.
- Mariem, S. Ben, & Mabrouk, S. Ben. (2014). Drying Characteristics of Tomato Slices and Mathematical Modeling. *International Journal of Energy Engineering 2014*, 4(2A), 17–24. <https://doi.org/10.5923/j.ijee.201401.03>
- Palozza, P., Simone, R. E., Catalano, A., & Mele, M. C. (2011). Tomato Lycopene and Lung Cancer Prevention: From Experimental to Human Studies. *Cancers*, 3(2), 2333–2357. <https://doi.org/10.3390/cancers3022333>
- Rao, A. V., & Rao, L. G. (2007). Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*, 55(3), 207–216. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2007.01.012>
- Sahin, K., Orhan, C., Sahin, N., & Kucuk, O. (2019). Anticancer Properties of Lycopene. In *Bioactive Molecules in Food* (pp. 935–969). https://doi.org/10.1007/978-3-319-78030-6_88
- Sahin, K., Yenice, E., Tuzcu, M., Orhan, C., Mizrak, C., Ozercan, I. H., Sahin, N., Yilmaz, B., Bilir, B., Ozpolat, B., & Kucuk, O. (2018). Lycopene Protects Against Spontaneous Ovarian Cancer Formation in Laying Hens. *Journal of Cancer Prevention*, 23(1), 25–36. <https://doi.org/10.15430/JCP.2018.23.1.25>
- Santos-Sánchez, N. F., Valadez-Blanco, R., Gómez-Gómez, M. S., Pérez-Herrera, A., & Salas-Coronado, R. (2012). Effect of rotating tray drying on antioxidant components, color and rehydration ratio of tomato saladette slices. *LWT - Food*

- Science and Technology*, 46(1), 298–304. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.09.015>
- Shi, J., & Maguer, M. Le. (2000). Lycopene in Tomatoes : Chemical and Physical Properties Affected by Food Processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(1), 1–42. <https://doi.org/10.1080/10408690091189275>
- Shi, J., Maguer, M. Le, Kakuda, Y., Liptay, A., & Niekamp, F. (1999). Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration. *Food Research International*, 32(1), 15–21. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(99\)00059-9](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(99)00059-9)
- Story, E. N., Kopec, R. E., Schwartz, S. J., & Keith Harris, G. (2010). An update on the health effects of tomato lycopene. *Annual Review of Food Science and Technology*, 1(1), 189–210. <https://doi.org/10.1146/annurev.food.102308.124120>
- Taber, H., Perkins-Veazie, P., Li, S., White, W., Rodermel, S., & Xu, Y. (2008). Enhancement of tomato fruit lycopene by potassium is cultivar dependent. *HortScience*, 43(1), 159–165. <https://doi.org/10.21273/hortsci.43.1.159>
- Takeshima, M., Ono, M., Higuchi, T., Chen, C., Hara, T., & Nakano, S. (2014). Anti-proliferative and apoptosis-inducing activity of lycopene against three subtypes of human breast cancer cell lines. *Cancer Science*, 105(3), 252–257. <https://doi.org/10.1111/cas.12349>
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. (2018). *FoodData Central*. Tomatoes, Red, Ripe, Raw, Year Round Average. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170457/nutrients>

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS SENSORIAL

5.1 Introducción

La División de Evaluación Sensorial del Instituto de Tecnólogos de Alimentos de Estados Unidos (IFT), define la evaluación sensorial como: "*Disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de alimentos y materiales que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído.*" Esta definición implica que la evaluación sensorial utiliza todos los sentidos e involucra una variedad de disciplinas como: la psicología, estadística, tecnología de alimentos y sociología. Las compañías reconocen la necesidad de obtener la información sensorial de los productos que tiene influencia en el comportamiento de compra del consumidor. El uso de esta información le permite al tecnólogo de alimentos enfocarse en los aspectos más relevantes de la formulación y ser más productivo. Identificar las medidas químicas específicas y su relación con los aspectos sensoriales específicos que tienen un efecto significativo en las preferencias del consumidor y su intención de compra, tiene beneficios significativos para una compañía y sus marcas. Aún mayores beneficios se obtienen cuando esta información se conecta con una estrategia de marketing (Stone y col., 2021b). Existen diversos métodos de evaluación sensorial y uno de los métodos más útiles es el *análisis descriptivo*. Este provee descripciones con palabras (también referidas como atributos) del producto, así como medidas de la intensidad de cada uno de los atributos. Esta información permite encontrar similitudes y diferencias entre productos e identificar los atributos que mejor se correlacionan a las diferencias en la preferencia de cada producto. Así mismo se pueden relacionar las diferencias en los atributos con ingredientes específicos o variables del proceso, lo cual tiene consecuencias significativas en el desarrollo del producto y su control de calidad. Un ensayo descriptivo es un procedimiento con un panel pequeño; se apoya en las respuestas de entre 6 a 20 evaluadores (Stone y col., 2021c). Una vez se alcanza un acuerdo sobre la descripción del producto, el líder del panel resume los resultados en un informe. Un elemento clave en el proceso es el líder de panel, el individuo responsable de coordinar las actividades e informar los resultados. El líder dirige la conversación y es el que extrae las conclusiones de la prueba. Este método no utiliza la estadística, sino el consenso en llegar a un resultado común y uno de los beneficios más importantes para el tecnólogo del producto es la velocidad con la que los resultados pueden reportarse.

Otro recurso valioso en un programa de evaluación sensorial son los *ensayos de aceptabilidad*. También conocidos como pruebas afectivas, miden la aceptabilidad sensorial o preferencia del consumidor por un producto. La preferencia puede medirse directamente por comparación de dos o más productos entre sí y seleccionando el que se prefiere, o puede medirse indirectamente determinando qué producto obtiene una calificación significativamente más alta en un ensayo con múltiples productos (Stone y col., 2021a). La medida de la aceptabilidad sensorial es un paso lógico y necesario antes de lanzar un producto al mercado; difícilmente se estaría dispuesto a invertir en un producto que sensorialmente es desagradable. Pero la aceptabilidad sensorial no garantiza que el producto tenga aceptabilidad general, en ésta última influye el envase, el precio, la publicidad, etc. La medida de la aceptabilidad general será el resultado combinado de los aspectos sensoriales y el trabajo del departamento de marketing. Un método muy útil para medir aceptabilidad sensorial y preferencia, es la escala hedónica de 9 puntos. Desde su desarrollo en 1957 ha sido ampliamente utilizada en una gran variedad de productos y es aún aplicada hoy en día con éxito considerable. La escala es fácilmente comprendida, con mínima instrucción, por los consumidores y los resultados han probado ser estables y reproducibles. Además de conocer lo mucho que a los consumidores les gusta un producto, en orden de diseñar productos alimenticios que cumplan con las expectativas sensoriales del consumidor, las compañías alimenticias necesitan información sobre qué características sensoriales los consumidores esperan encontrar en el producto (Ares y col., 2010). Con el fin de recopilar este tipo de información los estudios del consumidor usualmente incluyen preguntas sobre las características sensoriales del producto. Una herramienta útil son los cuestionarios de “tildar todo lo que corresponda”, CATA por sus siglas en inglés (check-all-that-apply). Un cuestionario CATA consiste en una lista de palabras o frases de las cuales los encuestados tienen que seleccionar las que consideren apropiadas para describir el producto. La lista usualmente incluye exclusivamente características sensoriales del producto pero también puede incluir términos hedónicos y características no sensoriales como ocasiones de uso, posicionamiento del producto y emociones (Ares y Jaeger, 2015). Los términos pueden ser generados de diversas formas; una de ellas es la generación por un panel de evaluadores entrenados (Dooley y col., 2010), aunque se

puede requerir simplificación si los términos son muy complejos para el consumidor promedio. El método CATA requiere instrucción mínima, es relativamente fácil de llevar a cabo y se completa de manera rápida y la información obtenida puede utilizarse de forma complementaria para mejorar la aceptabilidad global del producto.

En el presente capítulo de tesis se propone estudiar las características sensoriales y la percepción por parte de los consumidores, de un snack que consiste en rodajas de tomate perita deshidratadas y obtener información útil para evaluar la posible inserción del producto en el mercado. Para ello se proponen los siguientes objetivos:

- Obtener un perfil sensorial de snacks de tomate deshidratados a 60 °C y 67 °C a través de un análisis descriptivo y conocer las similitudes y diferencias percibidas entre ambos productos.
- Comparar las características percibidas en los snacks de tomate con las percibidas en snacks comerciales elaborados con otros vegetales.
- Medir la aceptabilidad sensorial, global y por atributos, del snack de tomate y compararla con la aceptabilidad sensorial de un snack comercial elaborado con otro vegetal.
- Estudiar la percepción de los consumidores frente al snack de tomate, a través de un cuestionario CATA, para conocer fortalezas y debilidades del producto en un potencial mercado.

5.2 Materiales y métodos

5.2.1 Materiales:

Se seleccionaron rodajas de tomate deshidratadas a 60 °C y 67°C (T60 y T67) ya que ambas presentaban una textura crocante lo cual era una de las características buscadas en el producto final y además presentaban la mayor retención del antioxidante licopeno.

Se adquirió en un comercio local un snack de batata (SB) que consiste en chips salados de batata frita (marca “Nuestros sabores”) y un snack comercial de mandioca (SM) que consiste en chips salados de mandioca frita (marca “Nuestros sabores”).

5.2.2 Metodología

5.2.2.1 Ensayo descriptivo

Se preparó una planilla de búsqueda de descriptores (Anexo 1) y se convocaron 7 evaluadores. Se les explicó el objetivo del ensayo: encontrar los términos que mejor describan a cada producto. A cada evaluador se le presentaron dos pares de muestras: T60 con T67 y SB con SM, cada muestra codificada con números al azar, y se les pidió que examinaran y probaran los pares de muestras y que encontraran diferencias y similitudes. Cuando todos los evaluadores completaron las planillas se inició y estimuló una discusión grupal hasta llegar a un consenso sobre las características que mejor representan a cada muestra. Se anotaron dichos descriptores y se obtuvo un perfil sensorial de cada producto.

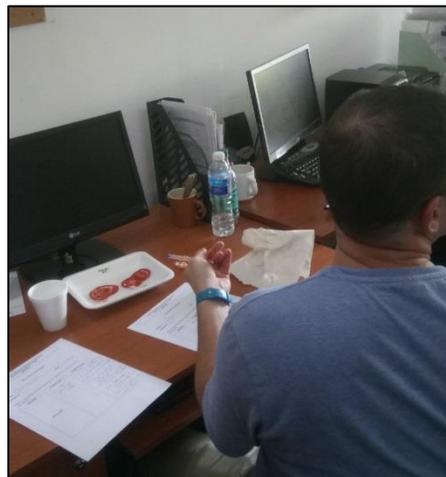


Figura 5.1: Evaluadores durante el desarrollo del ensayo descriptivo

5.2.2.2 Ensayo de aceptabilidad y cuestionario CATA

Para este ensayo se seleccionó el snack de tomate deshidratado a 67 °C (espesor final de 0,9mm) debido a que en el ensayo descriptivo fue considerado como el más crocante

y este atributo es frecuentemente el más deseable en snacks (Anton y Luciano, 2007). Además, en el capítulo anterior se determinó que las rodajas deshidratadas a 67 °C son las que presentan la mayor retención de licopeno lo cual es importante para el carácter saludable del producto. Se seleccionó el snack de batata como snack comercial no convencional, para medir también su aceptabilidad y poder contrastarla con la del tomate. Se preparó una planilla de evaluación incluyendo aceptabilidad global y aceptabilidad por atributos: color, aroma, sabor y textura (Anexo 2). Se utilizó, para cada parámetro, una escala hedónica de nueve puntos. Para la misma planilla se elaboró un cuestionario CATA, utilizando términos sensoriales y no sensoriales obtenidos en el ensayo descriptivo (en las planillas y en la discusión grupal) y otros utilizados en estudios similares (Dos Santos y col., 2015). En total el cuestionario incluyó 24 términos: 15 términos sensoriales y 9 no sensoriales. Se convocaron 40 consumidores, reclutados bajo el criterio de consumo frecuente de snacks e interés en probar snacks de vegetales. Debido al contexto global de pandemia de COVID19 (OMS, 2021), los consumidores no realizaron la prueba en el ámbito del laboratorio sensorial, sino en sus hogares. Para ello se le entregó a cada uno una bandeja debidamente protegida con film, conteniendo ambas muestras codificadas, selladas en paquetes individuales, y las planillas a completar. Para que la evaluación fuese adecuada y uniforme, se dieron algunas indicaciones generales (elegir un lugar tranquilo y bien iluminado, un momento alejado del consumo de otros alimentos o bebidas, etc.) y se les pidió que enviaran, vía internet, fotografías de ambas planillas completas al finalizar el ensayo.



Figura 5.2: Bandeja cubierta con papel film y muestras de snacks selladas individualmente

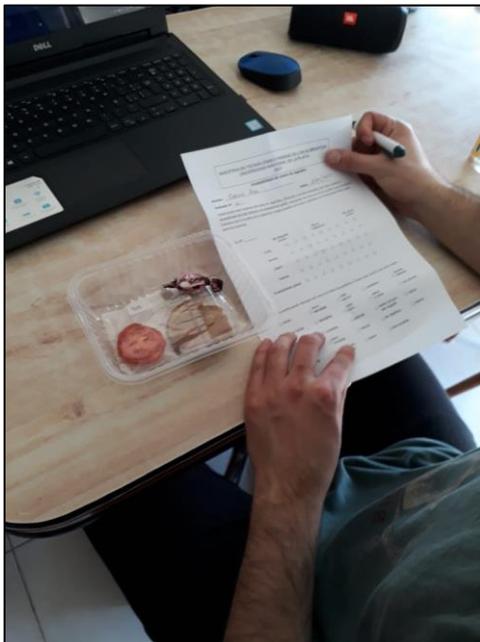


Figura 5.3: Consumidores realizando el ensayo sensorial de aceptabilidad con cuestionario CATA. Fotografías reproducidas con permiso de los involucrados.

5.2.2.3 Análisis de resultados

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con los resultados del ensayo de aceptabilidad, tanto para la aceptabilidad global como para los cuatro parámetros: color, aroma, sabor, textura. Para el estudio CATA se determinaron las frecuencias de mención de cada descriptor. De acuerdo a lo sugerido por Ares y col. (2010), se aplicó el test de Friedman en cada uno de los descriptores para evaluar si el consumidor discrimina entre las muestras. Se utilizaron las funciones estadísticas de Microsoft Excel y el software estadístico InfoStat (Universidad Nacional de Córdoba).

5.3 Resultados y discusión

5.3.1 Ensayo descriptivo

Los descriptores que se encontraron como los más adecuados para cada producto se presentan en la Tabla 5.1:

Muestra	Descriptores	
	Sensoriales	No sensoriales
T60	Sabor intenso, ácido, color intenso, poco crocante.	Natural, para consumir en picadas
T67	Sabor intenso, ácido, aroma intenso, crocante.	Natural, para consumir en picadas
SB	Dulce, color oscuro, duro, aceitoso, aroma a batata, sabor a batata.	Casero, poco saludable
SM	Crocante, salado, aceitoso, similar a papa frita.	Industrial, poco saludable

Tabla 5.1: Resultados del ensayo descriptivo con snacks de tomate producidos a 60°C (T60) y 67 °C (T67) y snacks de batata (SB) y mandioca (SM).

Entre los snacks de tomate se encontraron diferencias en la crocancia, en el color y en el aroma; el snack preparado mediante deshidratación a 67 °C se consideró más crocante y con aroma más intenso mientras el preparado por deshidratación a 60 °C se consideró menos crocante y con color rojo más intenso. A ambas muestras se les atribuyeron las características no sensoriales de: *natural* y *para consumir en picadas*. El

snack de batata se calificó como *casero* y el snack de mandioca como *industrial*. Ambos fueron considerados *poco saludables*.

5.3.2 Ensayo de aceptabilidad

Los resultados del ensayo de aceptabilidad se muestran en la Tabla 5.2 y en la Figura 5.4. El snack de tomate (T67) obtuvo una aceptabilidad global de 6,3 puntos. En los atributos la puntuación más alta se obtuvo en el *color*, la cual fue de 7,15. La puntuación más baja fue de 5,8 y se obtuvo en el parámetro *textura*. Para el snack de batata (SB), la aceptabilidad global fue de 8,2 y en los atributos la puntuación más alta fue la del parámetro *textura*, la cual fue de 8,5. La puntuación más baja fue de 7 y se obtuvo en el parámetro *color*. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la aceptabilidad global de las muestras y en la aceptabilidad de todos los atributos excepto en la del color.

Muestra	A. Global	Color	Aroma	Sabor	Textura
T67	6,28 (1,62) ^a	7,15 (1,44) ^a	6,30 (1,54) ^a	5,88 (2,17) ^a	5,82 (1,97) ^a
SB	8,25 (0,71) ^b	7,00 (1,47) ^a	7,48 (1,18) ^b	8,28 (1,15) ^b	8,5 (0,60) ^b

Tabla 5.2: Promedios (y desvío estándar) de la aceptabilidad global y por atributos de snacks de tomate (T67) y de batata (SB). Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en la aceptabilidad de cada parámetro.

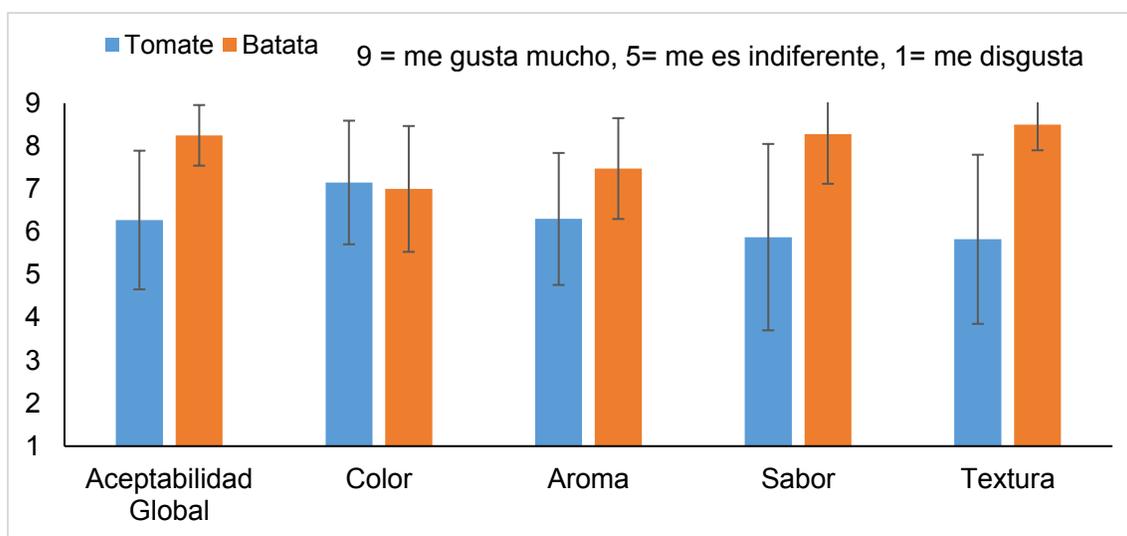


Figura 5.4: Aceptabilidad global y por atributos de snacks de tomate y de batata

5.3.3 Cuestionario CATA

La frecuencia con la que cada término fue seleccionado para describir cada snack en el cuestionario CATA se muestra en la Tabla 5.3. Los resultados también se presentan en la Figura 5.5.

Término	Muestra	
	T67	SB
<i>Apariencia</i>		
color propio del vegetal*	30	21
color oscuro*	3	16
color claro ^{ns}	4	3
<i>Aroma</i>		
aroma intenso ^{ns}	10	10
sin aroma ^{ns}	8	4
<i>Sabor</i>		
ácido*	28	0
poco ácido ^{ns}	8	9
salado*	5	23
suave*	3	11
sabor a salsa*	15	0
sabor propio del vegetal ^{ns}	22	22
dulce ^{ns}	8	11
<i>Textura</i>		
crocante*	11	39
poco crocante*	18	0
aceitoso*	0	11
<i>No sensoriales</i>		
similar a snack		
commercial*	1	29
original*	28	15
poco saludable*	0	4
saludable*	31	18
artificial ^{ns}	1	1
natural ^{ns}	29	24
de dietética ^{ns}	11	5
para picadas*	21	36
casero ^{ns}	12	13

Tabla 5.3: Resultados del cuestionario CATA. * Indica diferencia significativa ($p \leq 0,05$) mientras ^{ns} indica sin diferencia significativa.

Para el snack de tomate los términos más utilizados fueron: saludable (31), color propio del vegetal (30), natural (29), original (28) y ácido (28). El snack de batata fue descrito principalmente como: crocante (39), para picadas (36) y similar a snack comercial (29). No se detectaron diferencias significativas en el uso de los siguientes términos para la descripción de los snacks: *color claro*, *aroma intenso*, *sin aroma*, *poco ácido*, *sabor propio del vegetal*, *dulce*, *artificial*, *natural*, *de dietética* y *casero*. Las diferencias más grandes en la frecuencia de uso la presentaron los términos: *ácido*, *crocante* y *similar a snack comercial*.

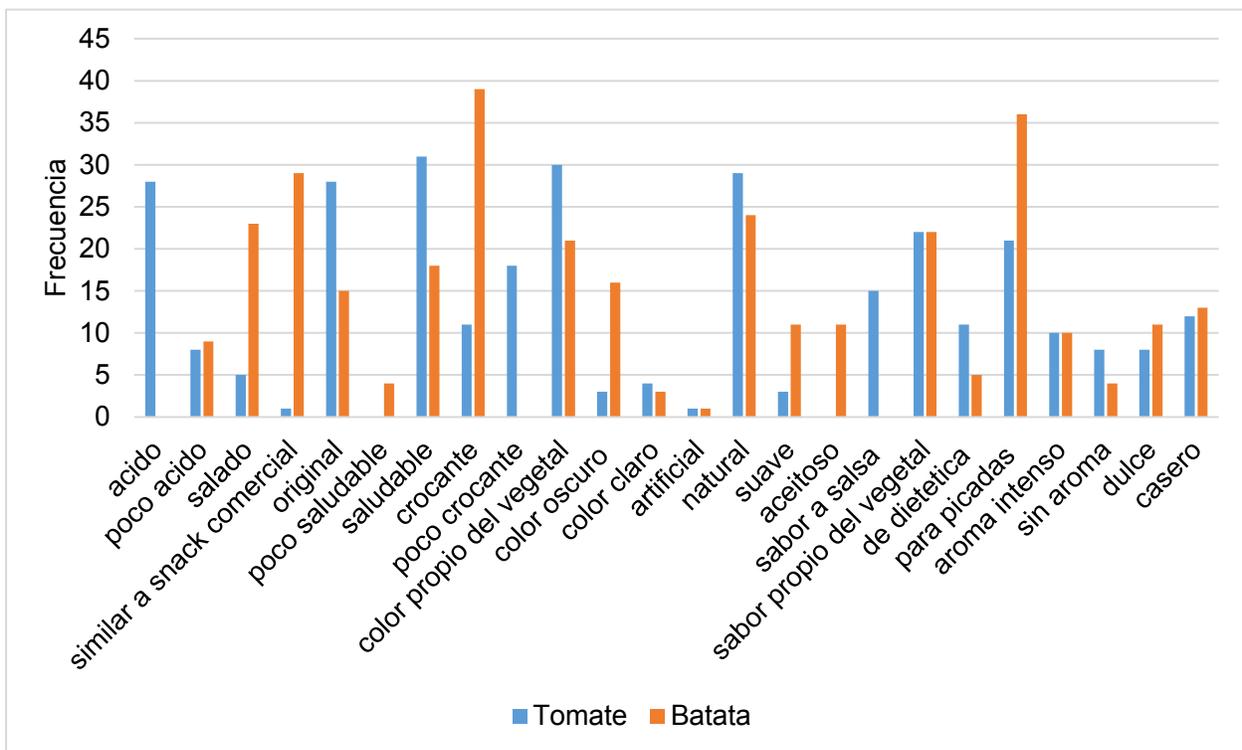


Figura 5.5: Frecuencia de selección de cada término para describir los snacks de tomate y de batata.

5.4 Conclusiones

- De acuerdo con los resultados del ensayo descriptivo, el snack de tomate producido a 67 °C presenta mayor crocancia que el producido a 60 °C. También hay diferencias en el color y en el aroma. A 67 °C el aroma es más intenso mientras a 60 °C el color es más intenso; esto puede deberse a que a mayor temperatura se producen más

fácilmente reacciones de pardeamiento no enzimático como las reacciones de Maillard, las cuales generan mayor nivel de compuestos volátiles que pueden ser favorables para el aroma, pero por otro lado ocurre un oscurecimiento en el color original.

- La textura es uno de los atributos con mayor relevancia en la aceptabilidad de un snack por lo que se estima que un aumento en la crocancia podría mejorar la aceptabilidad global del snack de tomate.
- Los consumidores dieron relevancia a los atributos no sensoriales de *saludable*, *natural* y *original*, denotando una marcada diferencia con un snack comercial tradicional; una estrategia de marketing que haga énfasis en estas características del snack podría favorecer la intención de compra.
- Como perspectivas de trabajo futuro, se plantea mejorar el sabor y la textura (atributos con menor puntaje) para elevar la aceptabilidad global del producto. Se propone el agregado de una mínima cantidad de sal previa al secado, lo cual contribuiría tanto al realce de sabores como a la crocancia, logrando una menor a_w .

5.5 Referencias bibliográficas

Anton, A. A., & Luciano, F. B. (2007). Instrumental texture evaluation of extruded snack foods: A review. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(4), 245–251.

<https://doi.org/10.1080/11358120709487697>

Ares, G., & Jaeger, S. R. (2015). Check-all-that-apply (CATA) questions with consumers in practice: experimental considerations and impact on outcome. In *Rapid Sensory Profiling Techniques and Related Methods: Applications in New Product Development and Consumer Research* (pp. 227–245). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781782422587.2.227>

Ares, Gastón, Barreiro, C., Deliza, R., Giménez, A., & Gámbaro, A. (2010). Application

of a check-all-that-apply question to the development of chocolate milk desserts. *Journal of Sensory Studies*, 25, 67–86. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2010.00290.x>

Dooley, L., Lee, Y. seung, & Meullenet, J. F. (2010). The application of check-all-that-apply (CATA) consumer profiling to preference mapping of vanilla ice cream and its comparison to classical external preference mapping. *Food Quality and Preference*, 21(4), 394–401. <https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2009.10.002>

Dos Santos, B. A., Bastianello, P. C., da Cruz, A. G., Galvão, M. T. E. L., Monteiro, R. A., Wagner, R., & Pollonio, M. A. R. (2015). Check all that apply and free listing to describe the sensory characteristics of low sodium dry fermented sausages : Comparison with trained panel. *Food Research International*, 76, 725–734. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.06.035>

Stone, H., Bleibaum, R. N., & Thomas, H. A. (2021a). Affective testing. In *Sensory Evaluation Practices* (5th ed., pp. 297–336). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815334-5.00004-5>

Stone, H., Bleibaum, R. N., & Thomas, H. A. (2021b). Introduction to sensory evaluation. In *Sensory Evaluation Practices* (pp. 1–21). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815334-5.00007-0>

Stone, H., Bleibaum, R., & Thomas, H. (2021c). Descriptive analysis. In *Sensory Evaluation Practices* (5th ed., pp. 235–295). Academic Press.

CONCLUSION GENERAL

CONCLUSIÓN GENERAL

El tomate es un fruto de gran importancia en la dieta humana y su consumo posee asociados múltiples beneficios para la salud. Argentina es un país con alta producción de tomate para consumo en fresco y en épocas donde la oferta supera a la demanda, el excedente puede aprovecharse constituyendo la materia prima de productos procesados como snacks de carácter nutritivo y saludable. La deshidratación con aire caliente es un excelente método para la producción de un snack de tomate debido a su versatilidad y a sus costos relativamente bajos de inversión y operación. En el secado de rodajas de tomate perita de 5 mm de espesor a las temperaturas de 50, 60 y 67 °C se obtienen productos estables microbiológicamente y en los cuales las reacciones fisicoquímicas de deterioro tienen una velocidad reducida ($a_w = 0,4$). En el modelado matemático de las curvas de secado de rodajas de tomate perita de 5 mm a temperaturas entre 40 y 67 °C, se obtuvieron los mejores ajustes con el modelo semi empírico de Page (R^2 entre 0,9924 y 0,9980). Debido a que es un modelo que se basa en la segunda ley de Fick, toma en cuenta la resistencia interna al movimiento de humedad y al utilizar un factor empírico toma en cuenta también los factores externos y se obtienen mejores ajustes. En las condiciones de secado utilizadas, el antioxidante licopeno, compuesto bioactivo, se conserva mejor en la deshidratación a 67 °C. A dicha temperatura se conserva el 40% del licopeno inicial. La mayor conservación del antioxidante se debe a que el tiempo de procesamiento a 67 °C es el más corto (420 minutos) y esto también presenta una ventaja operativa ya que si se utiliza el contenido de licopeno como parámetro de calidad; los productos de mayor calidad se obtienen en el menor tiempo. Un snack que consiste en rodajas de tomate perita de 5 mm deshidratadas con aire caliente a 67 °C (espesor final de 0,9 mm) obtuvo una aceptabilidad global de $6,28 \pm 1,62$ y los consumidores dan relevancia a los atributos: *saludable, natural y original*.

ANEXOS

Anexo 1: Planilla de búsqueda de descriptores

Desarrollo de descriptores

Nombre: _____

Evaluador N° _____

Fecha: _____

Observe y pruebe las muestras. Describa con palabras las sensaciones que usted percibe.

<i>Muestras</i>	<i>Se parece en</i>	<i>Se diferencia en</i>
<i>143 vs 909</i>		

Desarrollo de descriptores

Nombre: _____

Evaluador N° _____

Fecha: _____

Observe y pruebe las muestras. Describa con palabras las sensaciones que usted percibe.

<i>Muestras</i>	<i>Se parece en</i>	<i>Se diferencia en</i>
<p data-bbox="315 1171 480 1213">571 vs 367</p>		

Anexo 2: Planilla del ensayo de aceptabilidad con cuestionario CATA

Aceptabilidad de snacks de vegetales

Nombre: _____

Evaluador N° _____

Fecha: _____

Usted recibirá dos muestras de snacks de vegetales. Utilizando la escala mostrada, por favor evalúe la aceptabilidad de cada atributo y la aceptabilidad global, marcando con una cruz en el casillero que considere. Comience con la muestra de la izquierda y luego proceda con la de la derecha. Se recomienda beber agua entre las muestras.

Muestra N°: _____

	Me disgusta mucho		Me es indiferente				Me gusta mucho		
Color	<input type="checkbox"/>								
Aroma	<input type="checkbox"/>								
Sabor	<input type="checkbox"/>								
Textura	<input type="checkbox"/>								
Aceptabilidad global	<input type="checkbox"/>								

Por favor, a continuación marque con una cruz todas las palabras o frases que asocie con este snack.

- | | | | | |
|--|---|---------------------------------------|---|--|
| <input type="checkbox"/> ácido | <input type="checkbox"/> poco saludable | <input type="checkbox"/> color oscuro | <input type="checkbox"/> aceitoso | <input type="checkbox"/> aroma intenso |
| <input type="checkbox"/> poco ácido | <input type="checkbox"/> saludable | <input type="checkbox"/> color claro | <input type="checkbox"/> sabor a salsa | <input type="checkbox"/> sin aroma |
| <input type="checkbox"/> salado | <input type="checkbox"/> crocante | <input type="checkbox"/> artificial | <input type="checkbox"/> sabor propio del vegetal | <input type="checkbox"/> dulce |
| <input type="checkbox"/> similar a snack comercial | <input type="checkbox"/> poco crocante | <input type="checkbox"/> natural | <input type="checkbox"/> de dietética | <input type="checkbox"/> casero |
| <input type="checkbox"/> original | <input type="checkbox"/> color propio del vegetal | <input type="checkbox"/> suave | <input type="checkbox"/> para picadas | |

Muestra N°: _____

	Me disgusta mucho			Me es indiferente				Me gusta mucho	
Color	<input type="checkbox"/>								
Aroma	<input type="checkbox"/>								
Sabor	<input type="checkbox"/>								
Textura	<input type="checkbox"/>								
Aceptabilidad global	<input type="checkbox"/>								

Por favor, a continuación marque con una cruz todas las palabras o frases que asocie con este snack.

- | | | | | |
|--|---|---------------------------------------|---|--|
| <input type="checkbox"/> ácido | <input type="checkbox"/> poco saludable | <input type="checkbox"/> color oscuro | <input type="checkbox"/> aceitoso | <input type="checkbox"/> aroma intenso |
| <input type="checkbox"/> poco ácido | <input type="checkbox"/> saludable | <input type="checkbox"/> color claro | <input type="checkbox"/> sabor a salsa | <input type="checkbox"/> sin aroma |
| <input type="checkbox"/> salado | <input type="checkbox"/> crocante | <input type="checkbox"/> artificial | <input type="checkbox"/> sabor propio del vegetal | <input type="checkbox"/> dulce |
| <input type="checkbox"/> similar a snack comercial | <input type="checkbox"/> poco crocante | <input type="checkbox"/> natural | <input type="checkbox"/> de dietética | <input type="checkbox"/> casero |
| <input type="checkbox"/> original | <input type="checkbox"/> color propio del vegetal | <input type="checkbox"/> suave | <input type="checkbox"/> para picadas | |

Nota: al terminar la prueba por favor tomar una foto de la planilla y enviarla al whatsapp 1234567890. Muchas gracias.