



Innovación sostenible en la industria alimentaria: Evaluación de la deshidratación de frutas con energía geotérmica

Sustainable innovation in the food industry: Evaluation of fruit dehydration with geothermal energy

Eduardo Pérez-González², Patricia Severiano-Pérez*¹, Héctor M. Aviña-Jiménez², Yazmín Carmona-López¹

¹Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México

²Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México

Av. Universidad 3000, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, 04510 Ciudad de México, México

*Correo-e (*e-mail*): pspmex1@unam.mx

*Autora a quien debe dirigirse la correspondencia / *Author to whom correspondence should be addressed*

Recibido: Enero 15, 2024 / *Received: January 15, 2024*

Aceptado: Febrero 15, 2024 / *Accepted: February 15, 2024*

Resumen

Actualmente, la deshidratación de alimentos es reconocida como uno de los métodos más eficaces para su conservación. Esta técnica no solo prolonga su vida de anaquel, sino que también garantiza una disponibilidad más constante de alimentos nutritivos en diversas condiciones y mercados. El desarrollo de nuevos métodos de conservación ha adquirido relevancia, ya que se busca mejorar la eficiencia y ser más sostenibles. Como resultado se diseñó, construyó e instaló un deshidratador geotérmico de alimentos (DGA) en la geotermoelectrica Domo San Pedro, Nayarit, y este trabajo se enfoca en presentar los resultados del mango y guayaba deshidratados. El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad microbiológica, bromatológica y sensorial del mango keitt (*Mangifera indica* L.) y la guayaba amarilla (*Psidium guajava*), estableciendo comparaciones con muestras frescas. La evaluación microbiológica abarcó bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales, coliformes fecales y levaduras y mohos, mientras que la textura se midió utilizando un texturómetro TA-XT2i de Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK, con el software Texture Expert EXCED® y el análisis de color se realizó empleando la escala establecida por la Commission Internationale d'Éclairage (CIE, L*, a*, b*), con el uso de un espectrofotómetro Minolta CM-3600d. Además, los atributos sensoriales de las muestras se delinearón utilizando el método de Perfil Flash modificado. Los resultados demostraron que tanto las frutas frescas como las deshidratadas poseen cualidades microbiológicas que cumplen con los estándares establecidos. En cuanto al perfil sensorial, el mango fresco fue evaluado con base en 18 atributos, mientras que el mango deshidratado fue evaluado con 37 atributos, definidos como homogeneidad de apariencia, color, brillo, contenido de fibra, cohesividad, flexibilidad, intensidad de olor, aroma específico del mango, sabor a mango fresco y notas de inmadurez. El perfil sensorial de la guayaba fresca se analizó mediante 22 atributos, a diferencia de la guayaba deshidratada, que fue evaluada con 37 atributos, que destacan aspectos como color, brillo, presencia de semillas, granulosidad, masticabilidad, adhesividad, nota fresca, aroma característico de la guayaba, y sabor junto con un resabio metálico. El análisis instrumental de la textura del mango deshidratado indicó que los tres lotes elaborados por el grupo iiDEA® (Instituto de Ingeniería, Desalación y Energías Alternas), encargado del desarrollo del deshidratador geotérmico, fueron estadísticamente distintos entre sí, mientras que las muestras de guayaba exhibieron similitudes. Fueron considerados los parámetros colorimétricos L*, a* y b*, relativos a los valores de referencia para guayaba y mango frescos, ambos ejemplares deshidratados presentaron cambios de color. Se observó que las frutas deshidratadas con la aplicación de energía geotérmica conservaron varios atributos sensoriales de los productos frescos, en particular matices dulces, adhesividad, textura flexible, aroma y sabor, brillo y un sabor picante pronunciado.

Palabras clave: Preservación de alimentos, deshidratador geotérmico, análisis bromatológicos

Abstract

Currently, food dehydration is recognized as one of the most effective methods for preservation. This technique not only extends shelf life but also ensures a more consistent availability of nutritious foods under various conditions and markets. The development of new preservation methods has gained relevance as efforts are made to improve efficiency and sustainability. As a result, a geothermal food dehydrator (DGA) was designed, built, and installed at the geothermal power plant Domo San Pedro in Nayarit, and this work focuses on presenting the results of dehydrated mango and guava. The objective of this research was to evaluate the microbiological, bromatological, and sensory quality of keitt mango (*Mangifera indica* L.) and yellow guava

(Psidium guajava), establishing comparisons with fresh samples. The microbiological evaluation covered aerobic mesophilic bacteria, total coliforms, fecal coliforms, and yeasts and molds, while texture was measured using a TA-XT2i texturometer from Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK, with the Texture Expert EXCED® software, and color analysis was performed using the scale established by the Commission Internationale d'Éclairage (CIE, L*, a*, b*) with a Minolta CM-3600d spectrophotometer. Additionally, the sensory attributes of the samples were outlined using the modified Flash Profile method. The results showed that both fresh and dehydrated fruits possess microbiological qualities that meet established standards. Regarding the sensory profile, fresh mango was evaluated based on 18 attributes, while dehydrated mango was assessed with 37 attributes, defined as appearance homogeneity, color, brightness, fiber content, cohesiveness, flexibility, odor intensity, specific mango aroma, fresh mango flavor, and immature notes. The sensory profile of fresh guava was analyzed using 22 attributes, while dehydrated guava was evaluated with 37 attributes, highlighting aspects such as color, brightness, seed presence, granularity, chewiness, adhesiveness, fresh note, characteristic guava aroma, flavor, and metallic aftertaste. Instrumental texture analysis of dehydrated mango indicated that the three batches produced by the iiDEA® group (Institute of Engineering, Desalination, and Alternative Energies), responsible for developing the geothermal dehydrator, were statistically different from each other, while guava samples exhibited similarities. Colorimetric parameters L*, a*, and b*, relative to reference values for fresh guava and mango, showed that both dehydrated specimens presented color changes. It was observed that fruits dehydrated with the application of geothermal energy retained several sensory attributes of fresh products, particularly sweet tones, adhesiveness, flexible texture, aroma and flavor, brightness, and a pronounced spicy taste.

Keywords: Food preservation, geothermal dehydrator, bromatological analysis

Introducción

La deshidratación de alimentos se caracteriza como una de las técnicas más populares para su preservación. Este método no solamente amplía la vida útil de productos alimenticios esenciales, sino que también asegura una disponibilidad más estable para una población con un creciente aumento demográfico, ya que para el año 2050 se estima una población mundial de 9,700 millones (Naciones Unidas, 2024). Por lo anterior, la urgencia de encontrar métodos de deshidratación que equilibren eficiencia y sostenibilidad ambiental se ha vuelto primordial y es en este contexto que la exploración de las técnicas que minimicen el impacto ambiental, con la reducción de la huella de carbono y que promueva la conservación de recursos, ha desembocado en el desarrollo de sistemas deshidratadores que aprovechan la energía geotérmica.

En este estudio se propone llenar el vacío existente en la literatura al abordar las brechas en el conocimiento sobre la deshidratación de alimentos con energía geotérmica y su impacto en la calidad nutrimental y sensorial que se ha logra alcanzar. Es cierto que no es el único método de deshidratación, ni mucho menos el único que utiliza energía renovable, ya que tiempo atrás han tenido auge los secadores solares, pero como diferenciador entre estas dos tecnologías, estriba la disponibilidad del recurso energético porque esto impacta directamente en la calidad del producto.

Por ejemplo, los deshidratadores solares de convección y de charolas calientan el aire para remover la humedad contenida en el alimento; como su principal fuente de energía es el sol, tiene un tema de disponibilidad al disponer de no más de 12 horas promedio de luz al día, sin considerar temas climáticos como días nublados. Algunos sistemas más sofisticados integran en el proceso un sistema de almacenamiento de agua caliente en una serie de termotanques, que funcionan como capacitores térmicos y con los que mantienen el aire caliente. Dicha propuesta es ingeniosa y puede ofrecer productos deshidratados cada 19 horas (López-Vidaña, 2011) y, al mismo tiempo, con bajos niveles de producción (Sámano-Delgado et al., 2012). De acuerdo con los y las autores(as) de estas investigaciones, la inercia térmica requerida para producciones industriales representaría una gran inversión económica y de espacio para los termotanques, aunado con una gran cantidad de agua. Otros usan solamente el gas LP dosificado de manera automatizada por un sistema que usa una tarjeta computarizada para operar cuando la presencia de la luz solar no da las condiciones óptimas de operación (Durán-de-Bazúa et al., 2015; Espinosa-Aquino, 2001; Espinosa-Aquino et al., 2011; Martínez-Moreno et al., 1995) pero los autores no conocen de sus aplicaciones a escala real.

El sistema conocido como Deshidratador Geotérmico de Alimentos, DGA, tiene la ventaja de disponer de la geotermia 24/7, lo que favorece el control de los parámetros operativos. No es necesario contemplar variables de inercia térmica generada como con los solares y, sin importar las condiciones

climatológicas, el proceso de deshidratado se desarrolla sin ningún inconveniente, tanto para alimentos con alto contenido de humedad como el jitomate (95%) (Afuar et al., 2016) y piña (90%) (López-Cerino et al., 2019), caracterizada por su alto contenido de glúcidos, condición que dificulta su deshidratación (Hossain et al., 2001).

Energía geotérmica como innovación

Entre las alternativas emergentes, la energía geotérmica destaca por su potencial para revolucionar la industria de la deshidratación de alimentos. Esta fuente de energía, caracterizada por su sostenibilidad y bajo impacto ambiental, se alinea con las metas globales de desarrollo sostenible y protección ambiental. La integración de la energía geotérmica en los procesos de deshidratación no solo promete una mayor eficiencia energética sino también una reducción significativa en la dependencia de combustibles fósiles.

El origen del calor que emana del interior de la Tierra es por fricción entre fallas sísmicas, decaimiento de elementos radiactivos como el uranio, torio, rubidio y potasio (radiogénesis), que se asocian con la presión gravitacional y energía térmica residual desde la formación del planeta que poco a poco se ha mantenido en su interior (Aviña-Jiménez et al., 2022).

En conjunto con estos elementos y la presencia de cuerpos de agua atrapados en formaciones rocosas por la permeabilidad de agua de lluvia, ríos o derretimiento de nieve es que se originan estos campos geotérmicos de donde se explota en forma de vapor (campos con alta entalpía), o en estados bifásicos (media entalpía) o agua caliente que puede emanar de géiseres (baja entalpía).

El empleo de esta energía de manera directa en un proceso productivo o en la creación de un servicio, como el suministro de agua caliente o balneología son actividades que se agrupan bajo el nombre de "usos directos", las cuales han tenido auge en Europa, EE. UU. y regiones asiáticas con alta actividad volcánica, ya que esta manifestación es síntoma de la presencia de esta energía renovable (Fox Hodgson, 2020).

En el Anexo 4. "Otros usos de la energía geotérmica" se ejemplifican otro tipo de usos que se pueden desarrollar, así como se mencionan algunos de los sistemas necesarios para su aprovechamiento. Es en este sentido que la deshidratación de alimentos, como uso directo de la energía geotérmica, se está abriendo camino en las regiones latinoamericanas y del Caribe. Esta zona cuenta con los recursos hortofrutícolas y, en algunas regiones, se presentan en exceso por lo que este método se propone para preservarlos.

Estado actual de la tecnología de deshidratación

La deshidratación geotérmica se ha limitado al diseño de sistemas de aire caliente, continuos o por charolas, que calientan el aire (hasta 90°C) en un radiador, el calor lo proporciona agua remanente de geotermoeléctricas o emanaciones naturales con temperatura entre 180 a 90°C. México está dentro de los 10 países con alta capacidad instalada para generación geotermoeléctrica, y cuenta con 5 plantas geotérmicas donde es factible el aprovechamiento del recurso remanente. La Figura 1 esquematiza un sistema DGA y la Tabla D.1 la descripción de las corrientes.

En países como El Salvador y Guatemala se han desarrollado sistemas similares para el deshidratado de frutas, pero no han progresado más allá de prototipos, ya que aún persisten desafíos relacionados con la eficiencia energética, la conservación de nutrientes y la sostenibilidad a largo plazo.

Deshidratación con alta calidad

Durante el proceso se deben cuidar diversas variables, principalmente la humedad, temperatura y velocidad del aire al interior del horno, así como espesor de rebanada y grado de maduración de la fruta, lo anterior es importante porque influirá en el tiempo de secado y en su calidad. La calidad se evaluó con los análisis microbiológicos, bromatológicos y sensoriales (Pérez-González, 2017).

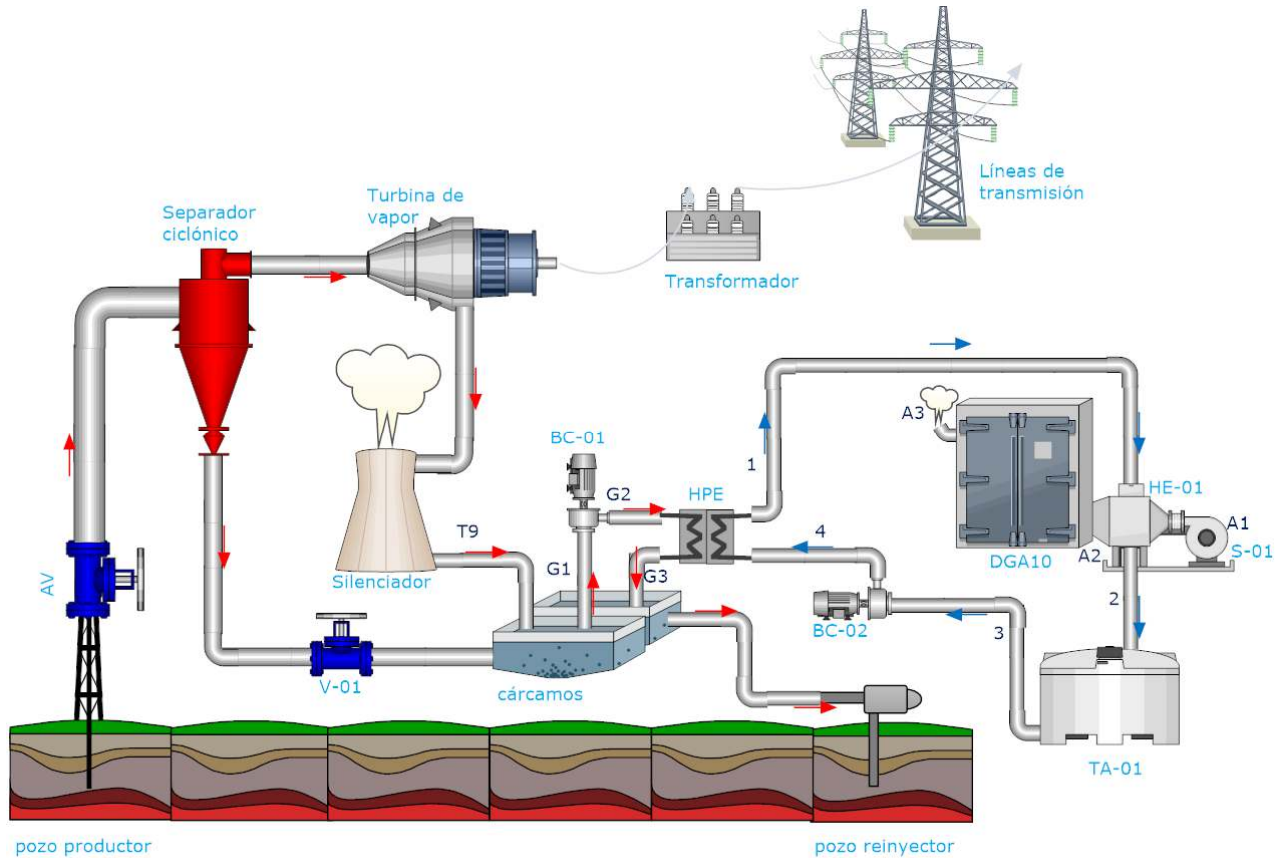


Figura 3. Diagrama de flujo de proceso del 'Sistema deshidratador geotérmico de alimentos'

Tabla D.1. Corrientes de la Figura 1

AV	Árbol de válvulas
V-01	Válvula de compuerta
BC-01	Bomba centrífuga 01
BC-02	Bomba centrífuga 02
S-01	Soplador; toma el aire fresco hacia el radiador
TA-01	Tanque de almacenamiento
HPE	Intercambiador de calor de placas
HE-01	Intercambiador de calor tipo radiador
DGA10	Deshidratador geotérmico de alimentos, modelo DGA10
T9	Toma geotérmica del módulo separador 9
G1	Agua geotérmica a 91°C y 0.86 Bar
G2	Agua geotérmica a 1.86 Bar
G3	Agua geotérmica a 71°C
1	Agua de toma común a 81°C
2	Agua que sale del radiador a 73°C
3	Agua fresca a 55°C y 0.86 Bar. (después de un tiempo de operación el agua en el tanque de almacenamiento se calentaba)
4	Agua presurizada 1.86 Bar
A1	Aire del ambiente 7°C (en invierno y de noche) y 38 °C (en verano al mediodía)
A2	Aire caliente para deshidratación, la temperatura puede varias entre 63°C a 70°C; 19% a 20% HR
A3	Aire a la salida del DGA10 con temperatura entre 58°C y 65°C; 32% a 34% HR

Para efectos de esta investigación se deshidrataron mango 'keitt' (*Mangifera indica*) y guayaba amarilla (*Psidium guajava*). El deshidratador utilizado fue el DGA10, sistema de aire caliente de charolas con capacidad para procesar 10 kg de pulpa y producir de 1.5 a 2 kg de fruta deshidratada por día. Con base en los resultados y análisis se determinó que las mejores condiciones para la deshidratación son temperaturas entre 70 y 75°C, humedad del aire 20 a 15% de HR (humedad relativa), velocidad del aire 1.5 m/s y espesor de rebanada entre 5 a 10 mm.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad microbiológica, bromatológica y sensorial del mango 'keitt' (*Mangifera indica* L.) y la guayaba amarilla (*Psidium guajava*) secadas en el sistema en estudio para establecer comparaciones con muestras frescas.

A continuación, se describen cada uno de los pasos que se siguieron.

Metodología y enfoque experimental

Condiciones de operación del secador

En la Tabla 1 se presentan las tres condiciones de secado estudiadas en esta investigación en el sistema de charolas usando aire caliente DGA10.

Tabla 1. Temperaturas y duración del proceso (en min) de deshidratación mango y guayaba de los lotes en estudio de las dos frutas siguiendo la nomenclatura basada en el nombre del grupo a cargo del sistema: iiDEA, por Instituto de Ingeniería, Desalación y Energías Alternas

Muestras	Temperatura de deshidratación, °C	Tiempo de secado, min
Mango deshidratado, tres muestras estudiadas		
iiDEA 1	63.0	1 395 (~24 h)
iiDEA 2	65.5	1 350 (~22.5 h)
iiDEA 3	66.3	1 320 (~22 h)
Guayaba deshidratada, dos muestras estudiadas		
iiDEA 1	65.0	1 140 (~19 h)
iiDEA 2	67.0	1 110 (~18.5 h)

Selección de muestras

La selección de las frutas se basó en su madurez, verificada a partir del uso de un modelo de color *HSL* (por sus siglas en inglés *Hue, Saturation, Lightness*; en español, 'matiz, saturación, luminosidad') para apoyar a los jueces en sus evaluaciones. Hay valores numéricos asociados con cada color (mango Tabla C.1 y guayaba Tabla C.2). Los números que aparecen en las tablas son generados de manera automática por la paquetería de Word para Windows (Figura C.1). Se seleccionaron frutas maduras, excluyendo las que presentaron defectos, enfermedades o daños físicos. Cada fruta se inspeccionó individualmente y se preparó según los procedimientos estandarizados, que incluyeron el lavado, corte y cualquier otro procedimiento necesario para garantizar la homogeneidad de las muestras. Para conocer los cambios que la deshidratación provoca en la fruta se evaluó la fruta fresca, para tener un parámetro de referencia. Se compraron cinco lotes de mango en la Central de Abastos de la Ciudad de México, en la bodega 5217. Dos lotes se mezclaron para tomar una muestra aleatoria para evaluarlos como una sola. Los otros tres lotes se deshidrataron (iiDEA1, iiDEA2 e iiDEA3) con energía geotérmica con los parámetros ya mencionados y el uso de un procedimiento operativo estandarizado (POE), el cual se presenta en el Anexo 1, y se evaluaron de forma independiente ambos tipos de muestras. Se compraron cuatro lotes de guayaba amarilla, también en la Central de Abasto de la Ciudad de México, local R-35. Dos lotes se mezclaron y se tomó una muestra aleatoria para evaluarlos como una sola muestra, y los otros dos lotes se deshidrataron (iiDEA1 e iiDEA2) y se evaluaron de forma independiente. La temperatura y tiempo de deshidratación de los lotes de iiDEA se muestran en la Tabla A.3.9.12 del anexo.

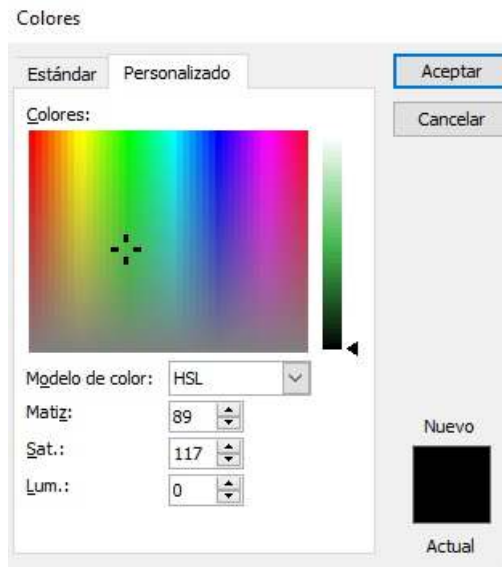


Figura C.4. Modelo de color *HSL* de la paquetería de Word para Windows

Tabla C.1. Escala de color para evaluar el mango fresco y deshidratado con los atributos de color *HLS*



Matiz	49	47	46	44	42	40	38	36	34
Rojo	174	119	201	211	222	233	223	223	234
Saturación	185	204	199	202	206	209	213	218	222
Verde	217	236	233	233	233	233	222	210	200
Luminosidad	115	122	120	119	118	117	16	115	114
Azul	28	23	22	20	18	16	14	11	9

Tabla C.2. Escala de color para evaluar la guayaba fresca y deshidratada con los atributos de color *HLS*



Matiz	50	49	45	43	41	39	37	36	35
Rojo	173	184	207	221	231	238	245	247	248
Saturación	188	195	191	192	215	219	221	223	227
Verde	222	231	231	234	237	233	227	223	218
Luminosidad	117	120	129	141	118	117	120	120	122
Azul	27	24	43	66	13	11	10	9	12

Evaluación de color y textura instrumental

Se midieron parámetros de color a temperatura ambiente empleando el sistema CIE, L^* , a^* , b^* (L^* indica la luminosidad y a^* y b^* son las coordenadas cromáticas) esto se basa en la teoría de color oponente que establece que dos colores no pueden ser rojo y verde al mismo tiempo o amarillo y azul al mismo tiempo como se indica a continuación:

a^* = coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde)

b^* = coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul)

Este sistema correlaciona los valores numéricos de color consistentemente con la percepción visual humana. Para esta parte de la evaluación se utilizó un espectrofotómetro Minolta CM-3600d. Las muestras lavadas y escurridas fueron cubiertas con papel Kleen pack y colocadas en el equipo previamente calibrado.

Para la evaluación de textura se realizó un análisis de punción con una sonda cónica de 2 mm de diámetro (P/2N), y con el equipo TA-XT2i, Texture Analyzer Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK, así como el software Texture Expert EXCED®. Las condiciones fueron 0.7 Newton de fuerza a una velocidad de 2 mm/s. Todas las mediciones se realizaron a temperatura ambiente.

De cada mango se cortaron cuatro cubos de 3 X 3 cm de distintas partes del fruto, y se midieron cuatro mangos por cada lote. En las guayabas se hicieron cuatro medidas por fruto. En fruta deshidratada se midió un punto por cada réplica para todas las muestras con un total de cuatro réplicas por cada muestra.

Evaluación de la calidad microbiológica

Para la preparación y dilución de muestras se siguió la Norma Oficial Mexicana 092-SSA1-1994. Se determinaron organismos mesófilos aerobios mediante la Norma Oficial Mexicana 092-SSA1-1994 (DOF, 1994a); organismos coliformes totales y fecales según dicta la Norma Oficial Mexicana 112-SSA1-1994 (DOF, 1994b); hongos y levaduras según la NOM-111-SSA1-1994 (DOF, 1994c). Por otra parte, se determinaron *Salmonella spp* y *Staphylococcus aureus* enterotoxigénico mediante pruebas rápidas CompacDry® (Carmona-López, 2016).

Los resultados microbiológicos se deben interpretar con base en una norma, pero esta normativa no existe en México ni en Codex Alimentarius y hay pocas especificaciones de otros países referentes a frutos deshidratados. Por un lado, se hizo la comparación con respecto a parámetros de productos existentes en el mercado y, por el otro, con especificaciones para otros productos deshidratados cuyo principio de conservación coincide para el mango y la guayaba deshidratados. Las especificaciones microbiológicas en México usadas como orientación fueron las de cebolla y ajo deshidratado (ver Tabla M-1).

Tabla M-1. Especificaciones microbiológicas de orientación en México (Dirección General de Normas, DOF, 1980, DOF, 1982)

Especificaciones microbiológicas	Límite máximo	
	NMX-F-233 Cebolla deshidratada	NMX-250-S-1980 Ajo deshidratado
Cuenta bacteriana total o mesófilos aerobios	100 000 o 10^5 UFC/g	200 000 o 20×10^4 UFC/g
Organismos coliformes	25 UFC/g	200 UFC/g
Hongos y levaduras	100 UFC/g	500 UFC/g
<i>Staphylococcus aureus</i> (coagulasa positiva)	Negativo en UFC/g	Negativo en UFC/g
<i>Salmonella spp.</i>	Negativo en 25 g	Negativo en 25 g
<i>Escherichia coli</i>	< 0.3 NMP/g	< 0.3 NMP/g

Las normas internacionales y guías técnicas para fruta y hortalizas deshidratadas utilizadas fueron el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que el gobierno de la República de Colombia junto con el Ministerio de Protección Social instauró para las frutas que se procesen, empaquen, transporten, importen y comercialicen en su territorio; la norma británica; la norma peruana y la norma brasileña. A continuación, se resume lo que cada una especifica.

Los requisitos generales en un alimento deshidratado, según la norma colombiana, deben contener como máximo un 12% de humedad. Antes de iniciar el proceso de deshidratación la muestra puede

ser sometida a un pretratamiento con la función de inactivar enzimas, destruir sustratos, limpiar el producto o favorecer la deshidratación. Los requisitos microbiológicos para frutas deshidratadas o desecadas se establecen para hongos y levaduras menores a 100 UFC/g y ausencia de *Salmonella* por cada 25 g (Ministerio de la Protección Social de Colombia, 2011).

La norma británica establece un número máximo de organismos coliformes totales de 25 UFC/g, ausencia de *Salmonella* y menos de 105 UFC/g de organismos mesófilos aerobios (Gilbert et al., 2000). La norma peruana establece un número máximo de organismos mesófilos de 100 UFC/g, de organismos coliformes totales menores a 500 UFC/g y de hongos y levaduras menores a 100 UFC/g; también marca la ausencia de *Salmonella* (Ministerio de Salud, 2003).

Finalmente, la norma brasileña ordena como criterio 200 UFC/g de coliformes totales y ausencia de *Salmonella* en 25g (Ministerio de Saúde Brasil, 1978).

Adicionalmente, se enviaron unas muestras a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM para los análisis bromatológicos, con el objetivo de corroborar la calidad de los productos frescos y deshidratados en estudio.

Evaluación de la calidad sensorial

La evaluación sensorial se refiere a la percepción, que incluye aspectos como aroma, sabor, textura y apariencia. Los jueces que participaron en la evaluación formaban parte del grupo de jueces entrenados del Laboratorio de Evaluación Sensorial de la Facultad de Química de la UNAM, 10 mujeres y 5 hombres, con edades entre los 22 a 26 años.

Para la evaluación de las frutas frescas y deshidratadas, se realizó un "perfil flash modificado" el cual está basado en perfil de libre elección destinado a describir los productos en función de sus atributos sensoriales de manera rápida (Arnés et al., 2021).

En la primera sesión se presentó una pieza entera de mango, y se pidió a los jueces que de forma individual generaran su propia lista de descriptores (ver Tabla A.2.1 del Anexo 2) de acuerdo con su vocabulario para los atributos de aspecto, olor, sabor y textura (Williams y Langron, 1984). En la segunda sesión se seleccionaron por consenso los atributos que formarían parte del perfil sensorial. Se elaboró el cuestionario del perfil sensorial usando el software FIZZ versión 2.3 por Biosystemes, Francia. Para cuantificar los atributos se utilizó una escala estructurada con valores entre 0 a 9, siendo cero la ausencia del atributo y nueve la máxima intensidad.

Para evaluar el atributo color del mango y la guayaba se incluyó un modelo de color *HSL* (por sus siglas en inglés *Hue, Saturation, Lightness*; en español, *matiz, saturación, luminosidad*) para apoyar a los jueces en sus evaluaciones, como ya se mencionó en la metodología (Tablas C.1 y C.2 y Figura C.1).

En la tercera sesión los jueces evaluaron el mango y la guayaba en su estado fresco. Una vez evaluado el mango se inició el proceso de generación de atributos de la guayaba (ver Tabla A.2.2 del Anexo 2) a partir del mismo procedimiento que el mango y, posteriormente, se evaluó su perfil. En otra sesión se evaluó la fruta deshidratada, que inició con el mango y posteriormente la guayaba, donde se les dieron a los jueces dos rodajas de fruta deshidratada para generar atributos, con los que más adelante evaluarían el perfil.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados bromatológicos se llevó a cabo con un análisis de varianza, ANDEVA (*ANOVA*, en inglés), a una vía y para conocer entre qué muestras se presentó diferencia significativa se empleó el análisis de DMS (diferencias mínimas significativas) con $p < 0.0001$.

El análisis estadístico de los datos del perfil se realizó con el software XLSTAT 2012, Addinsoft, versión 10.0, que efectúa un Análisis Procrustes Generalizado (*PGA*, siglas en inglés) (Gower, 1975), permitiendo generar una gráfica en dos dimensiones de componentes principales (*Biplot PCA*, siglas en inglés). Este análisis se basa en generar una matriz para cada juez, siendo éstas lo más parecidas entre ellas, y donde se hace uso de transformaciones matemáticas "Traslación, escalado y rotación/reflexión" (Pastor et al., 1996). Esta técnica estadística consiste en la obtención de una configuración consenso derivada de una, dos o más datos o matrices. Específicamente, el análisis Procrustes fuerza a cada una de las matrices formadas por cada uno de los individuos a formar un solo consenso espacial (Lawless y Heymann, 1998).

Resultados y discusión

Evaluación microbiológica

En la Tabla 2 se presentan los resultados de las pruebas microbiológicas realizadas a mango fresco y deshidratado, mientras que en la Tabla 3 se reportan los resultados de la guayaba fresca y deshidratada. Cabe mencionar que siendo este modelo un primer prototipo experimental, no se contó con un filtro de aire debido a la falta de presupuesto para su inclusión, por lo que los resultados observados en la Tabla 2 en algunos casos excedieron algunos parámetros para mohos y levaduras. Viendo la Tabla 1 tampoco podrían considerarse los efectos de las temperaturas y tiempos de secado de los tres experimentos iiDEA 1 a 3 para mango y 1 y 2 para guayaba. Sin embargo para los prototipos que se realizaron posteriormente este filtro ya fue considerado.

Todas las muestras cumplieron con los parámetros de calidad microbiológica, excepto para hongos en frutas deshidratadas que se establecen en Colombia, Perú, Brasil y Gran Bretaña (Gilbert, et al., 2000; Ministerio de Salud, 2003; Ministerio de Saúde Brasil, 1978). Cumplen para patógenos con las normas mexicanas NMX-F-233 para cebolla deshidratada y NMX-250-S-1980 para ajo deshidratado.

Tabla 2. Resultados de pruebas microbiológicas para mango fresco y deshidratado

Muestra	Mesófilos aerobios UFC/g	Coliformes totales NMP/g	Coliformes Fecales NMP/g	<i>Salmonella Spp</i> en 25g	<i>Staphylococcus aureus</i> UFC/g	Mohos y Levaduras UFC/g	pH
Mango fresco	< 25 v.e.	2.3	0.9	Ausente	< 10 v.e.	< 15 v.e.	4.4
iiDEA1	750	< 3 v.e.	< 3 v.e.	Ausente	< 10 v.e.	280	3.9
iiDEA2	30	< 3 v.e.	< 3 v.e.	Ausente	< 10 v.e.	135	3.9
iiDEA3	30	< 3 v.e.	< 3 v.e.	Ausente	< 10 v.e.	135	3.9

v.e.: Valor estimado.- Es una estimación del número de organismos que pueden encontrarse en cada prueba y que es dependiente de la sensibilidad que presente cada método empleado según la NOM-210-SSA1-2014 (DOF, 2014)

Tabla 3. Resultados de pruebas microbiológicas para guayaba fresca y deshidratada

Muestra	Mesófilos aerobios UFC/g	Coliformes totales NMP/g	Coliformes Fecales NMP/g	<i>Salmonella Spp</i> en 25g	<i>Staphylococcus aureus</i> UFC/g	Mohos y Levaduras UFC/g	pH
Guayaba Fresca	< 25 v.e.	< 3 v.e.	< 3 v.e.	Ausente	< 10 v.e.	< 15 v.e.	4.1
iiDEA1	< 25 v.e.	< 3 v.e.	< 3 v.e.	Ausente	< 10 v.e.	< 15 v.e.	4
iiDEA2	< 25 v.e.	< 3 v.e.	< 3 v.e.	Ausente	< 10 v.e.	< 15 v.e.	4

v.e.: Valor estimado, sensibilidad del método

El mango fresco presentó una carga muy baja de mesófilos aerobios con menos de 25 UFC/g, un nivel considerado deseable para la calidad alimentaria. Sin embargo, el recuento en la muestra iiDEA1 mostró un significativo aumento a 750 UFC/g, mientras que las muestras iiDEA2 e iiDEA3 registraron

30 UFC/g. En cuanto a los coliformes totales y fecales, medidos como NMP/g, se encontraron menos de 3 valores estimados en todas las muestras deshidratadas. Con respecto de la presencia de *Salmonella spp* todas las muestras de 25 g resultaron negativas. Por otro lado, los niveles de *Staphylococcus aureus* fueron menores de 10 v.e. en todas las muestras, por lo que cumplieron con las normas para fruta deshidratada. En el caso de los mohos y levaduras el mango fresco mostró un recuento bajo con menos de 15 v.e., mientras que iiDEA1 reflejó un incremento a 280 UFC/g, lo que indica un aumento notable post-deshidratación. Las muestras iiDEA2 e iiDEA3 tuvieron recuentos de 135 UFC/g superiores al mango fresco, pero inferiores a iiDEA1. Las muestras deshidratadas presentaron una humedad promedio de 11.37%.

Con respecto al valor de pH, las muestras presentaron un valor promedio de 3.9, una acidez que puede contribuir a inhibir el crecimiento microbiano en las frutas deshidratadas.

La carga microbiana de la guayaba fresca, en cuanto a mesófilos aerobios, fue baja con menos de 25 UFC/g, un recuento comparable al del mango fresco. Los *coliformes* totales y fecales medidos en NMP/g, tanto las muestras de guayaba deshidratadas como las de mango, registraron cifras bajas con menos de 3 v.e., lo cual señala un nivel microbiológico favorable. La *Salmonella spp*, evaluada en muestras de 25 g estuvo ausente en todas las pruebas realizadas a la guayaba, con lo que se reafirma la seguridad alimentaria de la fruta. Asimismo, el recuento de *Staphylococcus aureus* fue menor de 10 v.e. en las dos muestras de guayaba. En cuanto a mohos y levaduras, se registraron menos de 15 v.e. en todas las muestras. Finalmente, en términos de acidez, tanto la guayaba fresca como las muestras deshidratadas presentaron un valor promedio de pH de 4.4 y 3.9, respectivamente, que mantiene la coherencia con los resultados del mango y que sugiere que la deshidratación aumentó la acidez de las frutas.

Los hallazgos microbiológicos se interpretan en el contexto de la seguridad alimentaria y la estabilidad del producto. La comparación con estándares de la industria y estudios previos sugieren que la deshidratación con energía geotérmica no solamente cumple con los criterios microbiológicos establecidos, sino que también respalda la eficacia de este método en la preservación microbiológica, y asegura así la calidad y seguridad del producto deshidratado. Esto destaca la viabilidad de la deshidratación geotérmica como una técnica de procesamiento sostenible y respetuosa con el ambiente.

Los análisis bromatológicos se limitaron a tomar de los lotes frescos y deshidratados muestras aleatorias, con el objetivo de establecer un punto de referencia entre ellos. Esta metodología se adoptó como una medida pragmática ante la insuficiencia de recursos necesarios para estudios más extensivos. Los análisis de las muestras fueron realizados por el Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, el cual cuenta con la Norma ISO 9001:2008, COPANT/ISO 9001:2000 y NMX-9001-IMNC-2015/ISO 9001:2015.

Los resultados destacan cambios significativos en el contenido de humedad, valor de pH, concentración de vitamina C, cenizas, extracto etéreo, proteína, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno en la muestra deshidratada.

En general, las bacterias crecen con mayor rapidez a valores de pH comprendidos entre 6.0 y 8.0; las levaduras entre 4.5 y 6.0 y los hongos filamentosos entre 3.5 y 4.0 (Carmona-López, 2016). La alteración de la acidez afecta el funcionamiento de las enzimas de la célula microbiana, así como el transporte de nutrientes hacia su interior. Por lo regular, las frutas tienen valores de pH bajos, por lo que significa que son más propensas a la alteración fúngica en vez de la bacteriana (Carmona-López, 2016). De los resultados se registró para la guayaba fresca un valor de pH de 4.1 y deshidratada de 4.0, confirniéndole carácter ácido ($3.8 < \text{pH} < 4.0$), pudiendo prevenir el desarrollo de agentes potencialmente patógenos (Carmona-López, 2016). Para el mango fresco se registró un valor de pH de 4.4 y 3.9 para las tres muestras deshidratadas iiDEA. Esta disminución del valor de pH indica que, al

reducirse el contenido de agua, los compuestos solubles incluidos los ácidos orgánicos naturalmente presentes en las frutas, como el ácido cítrico o málico, se concentran. Algunas enzimas que pueden seguir activas durante las etapas iniciales de la deshidratación podrían estarse generando ácidos a partir de precursores no ácidos, lo cual disminuiría el valor de pH.

Es importante señalar que una disminución del valor de pH en los alimentos deshidratados es buena en cuanto inocuidad, ya que un ambiente más ácido inhibiría el crecimiento de microorganismos, con excepción de las levaduras, contribuyendo a una mayor vida útil del producto en términos generales.

La Tabla 4 muestra los resultados del análisis bromatológico del mango fresco y deshidratado, en la cual las principales diferencias y observaciones son el incremento de todos los parámetros evaluados (contenido de humedad, cenizas, grasa, proteína, fibra cruda y carbohidratos digeribles), lo cual era esperado ya que al retirar agua su proporción en la masa restante aumenta.

Tabla 4. Resultados de análisis bromatológico en mango fresco y deshidratado

Muestras	Humedad, %	Cenizas, %	Extracto etéreo (grasa), %	Proteína, %	Fibra cruda, %	Extracto libre de nitrógeno (ELN)*, %
Mango Fresco	78.82	0.34	0.09	0.55	0.68	18.52
Mango deshidratado iiDEA	11.37	2.03	0.29	3.23	2.85	80.23

***Carbohidratos digeribles**

Los resultados del análisis bromatológico de guayaba fresca y deshidratada se muestran en la Tabla 5, la principal diferencia entre ambas es el contenido de humedad, que disminuyó drásticamente en un 86% del contenido de humedad para la guayaba deshidratada. Este es un resultado esperado de la deshidratación, ya que el objetivo principal de este proceso era retirar el agua para prolongar la vida útil del producto, al reducir el crecimiento microbiano y la degradación enzimática.

Tabla 5. Resultados de análisis bromatológico en guayaba fresca y deshidratada

Muestras	Humedad, %	Cenizas, %	Extracto etéreo (grasa), %	Proteína, %	Fibra cruda, %	Extracto libre de nitrógeno (ELN)*, %
Guayaba Fresca	85.27	0.48	0.09	0.78	5.32	8.06
Guayaba deshidratada iiDEA	11.37	2.35	1.52	2.81	27.74	54.21

***Carbohidratos digeribles**

En general, el proceso de deshidratación concentra todos los componentes nutrimentales de mango y guayaba reduciendo el contenido de humedad. Esto lleva a un alimento con una densidad nutricional mucho mayor en términos de minerales, proteínas, grasas, fibra y carbohidratos por unidad de masa y con un contenido energético considerablemente más alto. Estos factores son importantes para la conservación, almacenamiento y consumo de alimentos deshidratados.

Color y textura instrumentales

Análisis de color

La Tabla 6 muestra los resultados del análisis de color para mango fresco y mango deshidratado, a partir del uso de las coordenadas de color del sistema CIE Lab*. Los valores de L* (Luminosidad)

varían de 0 (negro) a 100 (blanco). Los valores más altos indican una muestra más clara. El mango fresco presentó un L^* de 68.518, que fue más oscuro que iiDEA1 e iiDEA2, pero más claro que iiDEA3. Esto sugiere que iiDEA1 e iiDEA2 tuvieron una mayor luminosidad y pueden aparecer más pálidos o menos vibrantes que el mango fresco, mientras que iiDEA3 es casi tan oscuro como el mango fresco. Lo anterior se puede confirmar con los resultados obtenidos en el "Perfil Flash modificado". En la escala a^* (Eje Rojo-Verde) los valores positivos indican rojo y los negativos verdes. El mango fresco tuvo un valor de 11.240, donde se indicó una tendencia hacia el rojo, mientras que las muestras deshidratadas tuvieron valores más bajos, lo que indica que son menos rojas que el mango fresco, con iiDEA1 e iiDEA2 siendo notablemente menos rojos.

Tabla 6. Color para mango fresco y deshidratado

Muestras	L^*	a^*	b^*	C^*	h^*
Mango fresco	68.518 a	11.240 b	51.652 b	52.864 b	77.707 a
iiDEA1	79.414 b	4.872 a	38.156 a	38.485 a	82.735 b
iiDEA2	77.632 b	4.401 a	36.599 a	36.875 a	83.193 b
iiDEA3	67.087 a	9.595 b	37.461 a	38.732 a	75.648 a
Pr >					
F(Modelo)	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Significativo	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Pr >					
F(Name)	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Significativo	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

Los valores positivos de b^* (Eje Azul-Amarillo) indican amarillo y los negativos azules. El mango fresco tuvo un valor b^* de 51.652, lo que sugiere un fuerte tono amarillo. Las muestras deshidratadas tuvieron valores menores de b^* , lo que indica que fueron menos amarillas que el mango fresco, con iiDEA2 el valor fue más bajo, por lo que indica un mayor cambio de color.

C (Croma o Saturación) mide la intensidad del color. Un valor más alto de C indica un color más saturado. El mango fresco tuvo un croma de 52.864, mientras que las muestras deshidratadas presentaron valores más bajos, esto quiere decir que prevalece una saturación de color reducida tras la deshidratación.

h (Matiz) es el ángulo de tono en el espacio de color Lab*. El mango fresco presentó un h de 77.707, que puede representar un tono más hacia el rojo-amarillo. Las muestras deshidratadas tuvieron valores más altos de h , lo que indica un cambio en el tono hacia el amarillo.

El análisis de varianza muestra que todas estas diferencias fueron estadísticamente significativas ($p < 0.0001$), indicando que los cambios en el color entre el mango fresco y las muestras deshidratadas no fueron aleatorios, sino el resultado del proceso de deshidratación.

Se puede apreciar que el proceso de deshidratación afectó significativamente la apariencia del mango, reduciendo del tono rojo y amarillo (valores más bajos de a^* y b^*), una posible disminución en la intensidad del color (valores más bajos de C) y cambios en el tono de color (valores más altos de h). El hecho de que iiDEA1 e iiDEA2 presentaran valores más altos de L^* que el mango fresco, pero más bajos que iiDEA3, sugiere que el grado de deshidratación y posiblemente otros factores del proceso pueden influir en el color final del producto.

Los resultados de la guayaba se pueden ver en la Tabla 7. La muestra iiDEA1 presentó una mayor luminosidad (77.417) en comparación con la guayaba fresca, por el contrario, la muestra iiDEA 2 presentó una menor luminosa (64.019) que la guayaba fresca (70.569). Al ser iiDEA1 más clara que la

guayaba fresca pudiera indicar la presencia de vitamina C residual. iiDEA2 es más oscura, lo que puede deberse a una mayor deshidratación, y que al ser la vitamina C termosensible sea este componente el que esté presente en menor porcentaje.

Tabla 7. Color guayaba fresca y deshidratada

Muestras	L^*	a^*	b^*	C^*	h^*
Guayaba fresca	70.568 b	1.277 a	44.270 c	44.564 c	88.289 c
iiDEA1	77.417 c	2.957 a	19.448 a	19.689 a	81.304 b
iiDEA2	64.019 a	6.878 b	23.210 b	24.208 b	73.505 a
Pr > F (Modelo)	0.000	0.010	0.001	0.000	0.013
Significativo	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Pr > F (Muestra)	0.000	0.010	0.001	0.000	0.013
Significativo	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

El Eje Rojo-Verde, a^* , se tiene un aumento en el valor para iiDEA1 e iiDEA2, lo que sugiere que hay un cambio hacia tonos más rojos después de la deshidratación, lo que podría deberse a concentración de pigmentos como licopeno o cambios químicos que afectan la coloración.

En el Eje Azul-Amarillo se aprecia una reducción de b^* , esto como un indicador de que las guayabas deshidratadas son menos amarillas que las frescas, lo que podría indicar degradación o transformación de los carotenoides durante el proceso de deshidratación.

El croma (C^*) más bajo en iiDEA1 e iiDEA2 refleja una disminución en la saturación del color, lo que puede resultar en una apariencia menos vibrante.

El cambio en h para iiDEA1 e iiDEA2 indica una variación en el matiz del color, lo que sugiere cambios en la percepción general del color de la fruta.

La significación estadística (Pr > F) para cada una de las medidas indica que las diferencias entre la guayaba fresca y las muestras deshidratadas son estadísticamente significativas en todos los parámetros de color.

En las guayabas deshidratadas se apreció un aumento en la luminosidad con iiDEA1; por otro lado, ambas muestras deshidratadas fueron más rojas y menos amarillas, y disminuyó la saturación del color, lo que reflejó un cambio notable en la apariencia visual de la guayaba después de la deshidratación. Estos cambios son comunes en la deshidratación de frutas y reflejan la concentración de pigmentos y posibles reacciones químicas que ocurren durante la pérdida de humedad.

Análisis instrumental de textura

En el análisis instrumental de textura de mango deshidratado, iiDEA1 fue estadísticamente diferente a los de iiDEA2 e iiDEA3 (Tabla 8). Para el caso de la guayaba, los resultados del análisis instrumental se aprecian que todas las muestras iiDEA fueron semejantes entre sí (Tabla 9). La deshidratación con energía geotérmica mostró cambios significativos en la percepción sensorial, principalmente debido a la alteración en la apariencia visual de las frutas. El proceso de deshidratación tiende a concentrar los sabores y modificar la textura, lo que puede resultar tanto en una experiencia gustativa más intensa como en una textura diferente, a menudo más dura o crujiente, que puede ser deseable en algunos contextos de consumo. La alteración en los parámetros de color, como se muestra en las tablas de mango y guayaba, podrían afectar la atracción visual de las frutas, ya que el color es uno de los primeros atributos que el consumidor evalúa y puede ser un indicador de frescura y calidad.

Tabla 8. Textura mango fresco y deshidratado

Muestras	Dureza
Mango fresco 1	21.003 c
Mango fresco 4	19.780 c
Mango fresco 3	19.365 c
Mango fresco 2	19.365 c
iiDEA1	9.865 a
iiDEA2	14.655 b
iiDEA3	13.064 ab
Pr > F(Modelo)	0.000
Significativo	Sí
Pr > F(MUESTRA)	0.000
Significativo	Sí

Tabla 9. Textura guayaba fresca y deshidratada

Muestras	Dureza
Guayaba fresca	8.080 b
iiDEA1	3.374 a
iiDEA2	2.868 a
Pr > F(Modelo)	0.004
Significativo	Sí
Pr > F(Muestra)	0.004
Significativo	Sí

Estos resultados, relacionados con las preferencias del consumidor y las tendencias del mercado, resaltan la importancia de entender cómo los métodos de procesamiento impactan la percepción del producto final. Para la industria alimentaria, es crucial reconocer que los alimentos deshidratados no solo deben ser seguros y tener una vida útil prolongada, sino también mantener características sensoriales atractivas. La conservación del color, el sabor y la textura después de la deshidratación es esencial para satisfacer las expectativas del consumidor y garantizar la aceptación del producto en el mercado. Además, el uso de energía geotérmica como método de deshidratación podría comercializarse como un punto de venta único, con lo que se destaca la sostenibilidad y la innovación del proceso, lo cual es cada vez más valorado por los consumidores conscientes de la protección al ambiente.

Análisis sensorial

Las muestras, previamente a su análisis sensorial, estuvieron en una cámara bajo luz UV durante 8 días para garantizar con ello su inocuidad. Los resultados sensoriales, recogidos a partir de las valoraciones del panel de jueces, revelan para el mango fresco 18 atributos y solamente por mencionar algunos se encuentran fibroso, húmedo, jugoso, intensidad de olor, sabor y olor característico de mango. El perfil sensorial para su contraparte deshidratada se evaluaron 37 atributos, denominados por los jueces, como apariencia homogénea, color, brillo, fibroso, cohesivo, flexible, intensidad de olor, olor característico de mango, sabor a mango fresco, notas verdes. Los resultados del perfil del mango fresco y deshidratado se muestran en la Figura 2, donde ACP es el análisis de componentes principales (*PCA*, siglas en inglés para *Principal Components Analysis*). El componente 1 explica el 72.81% de la variabilidad de las muestras y el componente 2 el 16.49%. Entre ambos componentes explican el 89.31%. En general, las muestras deshidratadas fueron diferentes de la muestra fresca.

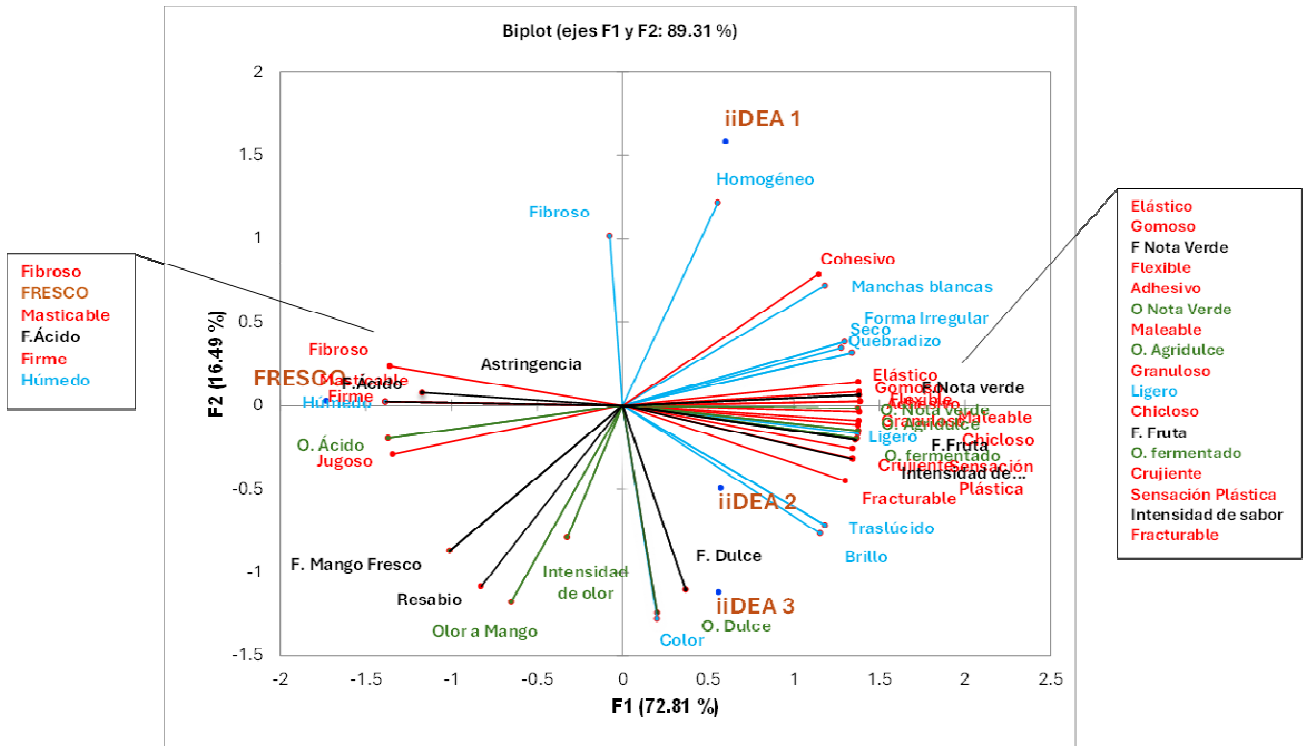


Figura 2. ACP de la comparación olor (textos en verde), apariencia (textos en azul), sabor (textos en negro) y textura (textos en rojo) para mango fresco y deshidratado. O: olor; F: *flavour* en inglés

El mango fresco se caracterizó por un aspecto fibroso y húmedo, una textura fibrosa, masticable, firme y un sabor ácido, astringente y a mango fresco con un resabio ácido y una intensidad de olor a mango. Por otro lado, las muestras de iiDEA1 se caracterizaron principalmente por un aspecto homogéneo, con manchas blancas, forma irregular, seco y quebradizo y por tener una textura elástica y flexible y un sabor con notas verdes.

Los mangos iiDEA2 e iiDEA3 tuvieron un aspecto ligero, translúcido y brillante con un color amarillo más intenso, una textura granulosa, maleable, crujiente, "fracturable" y con una ligera sensación plástica, con un olor a nota verde, agridulce y fermentado así como un sabor a nota verde, frutal, y fueron las muestras con la mayor intensidad de sabor a mango.

Las diferencias y tendencias destacadas a través de representaciones gráficas subrayan, para el ACP del mango, los atributos relacionados con la acidez aparecen prominentes en las muestras deshidratadas, así como los descriptores relacionados con el color, como brillo y vivacidad, los cuales son positivos para las muestras deshidratadas (iiDEA2 e iiDEA3).

En el perfil sensorial de guayaba fresca se evaluaron 22 atributos, entre los que se encuentran color, cantidad de semilla, corteza homogénea, cohesivo, arenoso, pulposo, ácido, nota verde, olor y sabor característico de guayaba. En el perfil sensorial iiDEA se evaluaron 37 atributos de entre los cuales se encuentran presentes color, brillo, cantidad de semilla, arenosa, masticable, adhesiva, nota a fresco, olor y sabor característico de guayaba, resabio metálico.

En la Figura 3 se muestran los resultados del perfil de la guayaba. El componente 1 explica el 82.48% de la variabilidad de las muestras y el componente 2 el 17.52% y, entre ambos componentes, explican

Las ventajas ambientales y operativas observadas en el estudio refuerzan la posición de la energía geotérmica como una opción viable y ecológica, alineándose con los esfuerzos globales para promover prácticas sostenibles en la industria alimentaria.

La calidad del producto deshidratado, evaluada a través de criterios microbiológicos, bromatológicos y sensoriales, ha sido confirmada como superior o al menos equivalente a la de los métodos tradicionales de deshidratación. Este hallazgo es testimonio de la capacidad de la energía geotérmica para mantener, y en algunos casos mejorar, la calidad de los alimentos deshidratados.

Los hallazgos de este estudio tienen implicaciones significativas para la industria alimentaria. La adopción de la energía geotérmica para la deshidratación puede mejorar no solo la eficiencia de los procesos de conservación de alimentos sino también contribuir a la producción sostenible y la seguridad alimentaria, lo que marca un paso hacia prácticas más responsables y sostenibles.

El estudio abre varias vías para investigaciones futuras, incluyendo la exploración de la aplicabilidad de la energía geotérmica en una gama más amplia de productos alimenticios y el estudio de los efectos a largo plazo de la deshidratación geotérmica en la calidad de los alimentos. Se recomienda una investigación más profunda para maximizar el potencial de esta tecnología.

Glosario

Siglas	Significado
ACP (<i>PCA</i>)	Análisis de componentes principales
CeMIE-Geo	Centro Mexicano de Innovación y Energía Geotérmica
CONAHCYT	Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías de México
DGA	Deshidratador Geotérmico de Alimentos
DGA10	Deshidratador Geotérmico de Alimentos con capacidad de procesar 10 kg de pulpa
ELN	Por otra parte, el extracto libre de nitrógeno (ELN) es una medida indirecta de los carbohidratos "solubles" o "digeribles" presentes en el alimento. Se obtiene mediante la sumatoria de los valores porcentuales determinados para la humedad, proteína cruda, lípidos, fibra cruda y ceniza, y substrayendo el total de 100 (FAO, 2024)
HR	Humedad relativa
iiDEA	Instituto de Ingeniería, Desalación y Energías Alternas
NMP	Número Más Probable por gramo
POE	Procedimiento operativo estandarizado
SENER	Secretaría de Energía de México
UFC	Unidades Formadoras de Colonias

Reconocimientos

Los autores valoran profundamente el respaldo proporcionado por la SENER y el CONAHCYT, ya que a través del financiamiento otorgado al proyecto "P11-Desarrollo Tecnológico para el Aprovechamiento de la Energía Geotérmica de Baja Entalpía", fue posible el desarrollo de esta investigación. Reconocen también el valioso apoyo académico de la Maestra Olga del C. Velázquez-Madrado y de la Química de Alimentos Rocío A. Sanabria-Aguirre para el desarrollo exitoso de esta fase del proyecto.

Anexo 1. Procedimiento operativo estandarizado

1. Lavado y desinfección del deshidratador

1.1. El lavado y desinfección del deshidratador se debe realizar al menos un día antes de que se deshidrate cualquier fruta u hortaliza, para que el equipo esté seco

1.2. Los utensilios de limpieza que sean destinados únicamente para el sanitizado del equipo no deberán por ningún motivo ser mezclados o en su caso ser usados para limpiar otra superficie

1.3. Para el lavado y desinfección del deshidratador se debe seguir el siguiente procedimiento:

1.3.1.1. Inclinar el deshidratador para evitar que el agua se estanque en la zona media del deshidratador, por la parte de abajo

1.3.1.2. Desmontar una puerta y las charolas. Estas se deben colocar sobre las cubetas para que no entren en contacto con el suelo

1.3.1.3. Tallar todas las superficies internas y externas del equipo con un cepillo limpio y una solución de jabón neutro líquido de concentración 20% v/v. Cuando el jabón se ensucie es momento de cambiarlo, las charolas y puertas se deben tallar, para evitar que se toque el suelo

1.3.1.4. Enjuagar con abundante agua para eliminar el jabón, con agua a presión se puede realizar de manera más efectiva

1.3.1.5. Para desinfectar se debe rociar una solución de hipoclorito al 10% (v/v) y dejar actuar durante 15 minutos. En el transcurso de esos 15 minutos no se debe permitir que las superficies se sequen, el rocío debe ser constante.

1.3.1.6. Enjuagar con abundante agua para eliminar el hipoclorito que se usó anteriormente

1.3.1.7. El equipo debe dejarse escurrir y secar, con ayuda de un jalador se retira la mayor parte de agua posible de las partes exteriores, en la parte de abajo del deshidratador, hay que sacar el agua y limpiar con toallas desechables

1.3.1.8. Una vez seco el equipo se debe envolver, con polietileno de baja densidad, se realiza el empaquetado

2. El lavado de manos se debe hacer siguiendo el procedimiento establecido en la NORMA OFICIAL MEXICANA, NOM – 251-SSA1-2009. Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios

3. Lavado de área de preparación de muestra

3.1. El área de lavado debe estar equipada con agua potable, jabón neutro, hipoclorito y toallas desechables

3.2. Primero se debe sanitizar el área de preparación de muestras, las mesas de trabajo y la tarja donde se lavara la materia prima, seguir el siguiente procedimiento:

3.2.1.1. Tallar superficies y tarja con cepillos que serán destinados para solo este uso, el tallado debe ser profundo y en forma de círculos con solución de jabón neutro líquido 20% v/v

3.2.1.2. Enjuagar con abundante agua, para eliminar todo el jabón antes empleado

3.2.1.3. Desinfectar rociando una solución de hipoclorito 10% v/v, y esperar 15 minutos, se debe evitar que la superficie se seque, esto debe ser continuo por los 15 min

3.2.1.4. Enjuagar con abundante agua para eliminar el hipoclorito que se utilizó anteriormente

3.2.1.5. Jalar el agua con utensilios, y dejar secar por 15 minutos

4 Lavado de los utensilios

4.1. Para desinfectar los utensilios, para cortar la fruta u hortaliza, se debe seguir el siguiente procedimiento:

4.1.1.1. Tallar los utensilios para el cortado (cuchillos, tenedores, tablas para picar, charolas, tinas, escurridores) con fibra y jabón neutro líquido, solución al 10%

4.1.1.2. Enjuagar los utensilios a chorro de agua, y colocar en una tina, para sumergirlos en una solución de hipoclorito al 5% durante 5 minutos

4.1.1.3. Drenar el agua

4.1.1.4. Dejar escurrir los utensilios sobre una toalla desechable dentro de la zona desinfectada

4.1.1.5. Los utensilios deben utilizarse hasta que estén completamente secos

5. Lavado de fruta fresca

5.1. En una zona previamente desinfectada se debe colocar en charolas o tinas destinadas para el lavado del mismo y seguir el procedimiento:

5.1.1.1. Enjuague: Con las manos limpias, se pasa cada uno de los frutos, uno por uno a chorro de agua, girándolo para quitar las posibles partículas de tierra, o polvo

5.1.1.2. Remojo: En una solución de jabón neutro al 20%, se remoja, el agua debe llegar a cubrirlos perfectamente, las frutas u hortalizas deben ser sometidas a agitación manual y tallar con las manos cada uno por 3 minutos, especialmente hay que realizarlo en el área de la coronilla

5.1.1.3. Drenado de jabón: Se inclina la tina para dejar fluir la solución de jabón a la tarja

5.1.1.4. Enjuague: Se realiza bajo chorro de agua para cada fruta u hortaliza individualmente y se transfieren a un recipiente desinfectado

5.1.1.5. Remojo: Se remojan en solución de hipoclorito 5 ppm, sumergiéndolos completamente por 15 minutos

5.1.1.6. Secado: Una vez transcurrido el tiempo de remojo, con las manos limpias se retira y se coloca en un escurridor para que se sequen.

Anexo 2. Lista de descriptores para evaluar fruta fresca

Tabla A.2.1.2. Tabla de atributos evaluados en mango fresco

Atributo	
Apariencia	Color
	Fibroso
	Homogéneo
	Húmedo
Textura	Firme
	Fibroso
	Masticable
	Cohesivo
	Jugoso
Olor	Ácido
	Dulce
	Mango
	Intensidad de olor
Sabor	Ácido
	Dulce
	Mango
	Astringente
	Resabio

Tabla A.2.2.3. Tabla de atributos evaluados en guayaba fresca

Atributo	
Apariencia	Color amarillo
	Grosor de la cáscara
	Húmedo
	Corteza homogénea
	Brillante
	Cantidad de semilla
	Manchas en la corteza
	Dureza
Textura	Adhesivo
	Masticabilidad
	Cohesividad
	Fibrosidad
	Pulposo
Olor	Arenoso
	Característico de guayaba
	Dulce
	Ácido
Sabor	Nota verde
	Dulce
	Guayaba
	Ácido
	Resabio astringente

Anexo 3. Resumen del perfil sensorial y comparación entre muestras frescas y deshidratadas

Tabla A.3.1.4. Resumen perfil sensorial mango, Apariencia

Atributo característico	Mango fresco - Muestra	Mango deshidratado - Atributo característico	Mango deshidratado - Muestra
Color	C.A 31A15, C.A 21S15	Color	comercial
Homogéneo	C.A 17A15, C.A 24A15, C.A 10A15	Homogéneo	comercial
Fibroso	C.A 31A15, C.A 21S15	Fibroso	comercial
Húmedo	C.A 31A15, C.A 21S15	Seco	iiDEA 1, comercial
Translúcido		Translúcido	iiDEA 2, iiDEA 3 comercial
Quebradizo		Quebradizo	iiDEA 1, comercial
Brillo		Brillo	iiDEA 2, iiDEA 3
Forma irregular		Forma irregular	comercial
Manchas blancas		Manchas blancas	comercial
Ligero		Ligero	comercial

Tabla A.3.2.5. Resumen perfil sensorial mango, textura

Atributo característico	Mango fresco - Muestra	Mango deshidratado - Atributo característico	Mango deshidratado - Muestra
Jugoso	C.A 31A15, C.A 21S15	Jugoso	comercial
Fibroso	C.A 31A15, C.A 21S15	Fibroso	comercial
Cohesivo	C.A 24A15	Cohesivo	comercial
Firme	C.A 17A15	Granuloso	comercial
Masticable	C.A 17A15, C.A 10A15	Crujiente	comercial
		Fracturable	comercial
		Adhesivo	iiDEA 3
		Flexible	iiDEA 1, iiDEA 2, iiDEA 3
		Maleable	iiDEA 1, iiDEA 2, iiDEA 3
		Sensación plástica	comercial
		Chicloso	comercial
		Elástico	comercial
		Gomoso	comercial

Tabla A.3.3.6. Resumen perfil sensorial mango, olor

Atributo característico	Mango fresco - Muestra	Mango deshidratado - Atributo característico	Mango deshidratado - Muestra
Dulce	C.A 31A15	Dulce	comercial
Ácido	C.A 10A15, C.A 17A15, C.A 24A15	Ácido	comercial
Intensidad de olor	C.A 31A15	Intensidad de olor	comercial
Característico de mango	C.A 21S15	Característico de mango	iiDEA 2, iiDEA 3
		Agridulce	comercial
		Nota a fermentado	comercial
		Nota verde	comercial

Tabla A.3.4.7. Resumen perfil sensorial mango, sabor

Atributo característico	Mango fresco - Muestra	Mango deshidratado - Atributo característico	Mango deshidratado - Muestra
Ácido	C.A 10A15	Ácido	comercial
Dulce	C.A 10A15	Dulce	comercial
Mango	C.A 10A15	Mango fresco	iiDEA 2, comercial
Resabio	C.A 31A15, C.A 21S15	Resabio	iiDEA 2, comercial
Astringencia	C.A 31A15, C.A 21S15	Fruta	iiDEA 2, comercial
		Intensidad de sabor	iiDEA 2, comercial
		Nota a fermentado	iiDEA 2, comercial

Tabla A.3.5.8. Resumen perfil sensorial guayaba, apariencia

Atributo característico	Guayaba fresca - Muestra	Guayaba deshidratada - Atributo característico	Guayaba deshidratada - Muestra
Color	C.A 22015	Color	comercial
Brillo	C.A 22015	Brillo	comercial
Cantidad de semilla	C.A 22015	Cantidad de semilla	comercial
Corteza homogénea	C.A 22015	Rugoso	comercial
Húmedo	C.A 22015	Seco	iiDEA 1, iiDEA 2, comercial
Grosor de la cáscara	C.A 20015	Grosor de la rebanada	comercial
Manchas en la corteza	C.A19015	Tostado	comercial
		Homogéneo	comercial
		Arenoso	comercial

Tabla A.3.6.9. Resumen perfil sensorial guayaba, textura

Atributo característico	Guayaba fresca - Muestra	Guayaba deshidratada - Atributo característico	Guayaba deshidratada - Muestra
Masticable	C.A 22015	Masticable	comercial
Cohesividad	C.A 22015	Cohesivo	iiDEA 1, iiDEA 2, comercial
Arenoso	C.A 22015, C.A 20015	Arenoso	Comercial
Fibroso	C.A 20015	Fibroso	iiDEA 1, iiDEA 2
Dureza	C.A 20015	Dureza	comercial
Adhesivo	C.A 19015	Adhesivo	iiDEA 1, iiDEA 2
Pulposo	C.A 22015	Crujiente	comercial
		Fracturable	comercial
		Áspero	
		Elástico	iiDEA 1, iiDEA 2, comercial
		Maleable	iiDEA 1, iiDEA 2, comercial

Tabla A.3.7.10. Resumen perfil sensorial guayaba, olor

Atributo característico	Guayaba fresca - Muestra	Guayaba deshidratada - Atributo característico	Guayaba deshidratada - Muestra
Ácido	C.A 20015	Ácido	comercial
Característico de guayaba	C.A 22015	Característico de guayaba	iiDEA 1, iiDEA2
Dulce	C.A 22015	Dulce	iiDEA 1, iiDEA 2
Nota verde	C.A 20015	Horneado	comercial
Nota a fermentado	comercial		
Fresco	iiDEA 1, iiDEA2		

Tabla A.3.8.11. Resumen perfil sensorial guayaba, sabor

Dulce	C.A 22015	Dulce	iiDEA 2, comercial
Característico de guayaba	C.A 19015	Característico de guayaba	iiDEA 2
Ácido	C.A 20015	Ácido	iiDEA1, comercial
Resabio astringente	C.A 20015	Amargo	comercial
		Tostado	iiDEA 2, comercial
		Resabio metálico	comercial

Tabla A.3.8.11. Resumen perfil sensorial guayaba, sabor

	Astringente	iiDEA1, comercial
	Resabio amargo	iiDEA1, comercial
	Resabio a guayaba	iiDEA1, comercial
	Intensidad de sabor	iiDEA1, comercial
	Fresco	iiDEA1, comercial

Tabla A.3.9.12. Temperaturas y duración del proceso (min.) de deshidratación mango y guayaba de los lotes de iiDEA

Muestras	Temperatura de deshidratación, °C	Tiempo de secado, min
Mango deshidratado, tres muestras estudiadas		
iiDEA 1	63.0	1 395
iiDEA 2	65.5	1 350
iiDEA 3	66.3	1 320
Guayaba deshidratada, dos muestras estudiadas		
iiDEA 1	65.0	1 140
iiDEA 2	67.0	1 110



Figura A.3.1. Lavado, picado y envasado de mango y guayaba deshidratados



Figura A.3.2. Código QR del video del proyecto

Anexo 4. Otros usos directos de la energía geotérmica

Los usos de la energía geotérmica son actividades desarrolladas con la intención de aprovechar, como su nombre lo indica, de manera directa el calor remanente de la producción de energía eléctrica por las grandes geotermoelectricas o de fuentes termales que se manifiestan de forma natural en zonas especiales, donde el gradiente geotérmico es inusual; para tener un parámetro de referencia el gradiente geotérmico promedio es de $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$, pero en la región del Cinturón Volcánico Mexicano se ha estimado un gradiente de $80^{\circ}\text{C}/\text{km}$, o en Chihuahua en Piedras de Lumbre-Maguarichi, con presencia de anomalías geotérmicas, se ha cuantificado un gradiente de $100^{\circ}\text{C}/300\text{m}$ (Prol-Ledesma y Morán-Zenteno, 2019).

Como ya se mencionó en la sección "Estado actual de la tecnología de deshidratación" México figura como potencia mundial en aprovechamiento de esta energía para usos directos como son: la deshidratación de alimentos, invernaderos, acuicultura, pasteurización de leche y producción de leche en polvo, secado de granos como el cacao, café o arroz, climatización con bombas de calor (para hacer frente a los veranos cada vez más cálidos), secado/curado de eco-ladrillos (recientemente se han iniciado investigaciones en torno a la creación de ladrillos para la construcción hechos de arcillas a base de materiales reciclados u orgánicos (Aguilar-Penagos et al., 2017), minería para la extracción de carbonato de litio con calidad grado batería, entre otros procesos.

El aprovechamiento de la energía geotérmica de manera directa a través de diversos usos directos conectados secuencialmente se conoce como usos en cascada. La Figura A4.1 ejemplifica el uso en cascada. Su objetivo es extraer la mayor cantidad de energía térmica del agua para crear diferentes servicios o productos. Esto dentro de la ingeniería ambiental se conoce como economía verde, la cual se caracteriza por el aprovechamiento de los recursos de una manera integral.

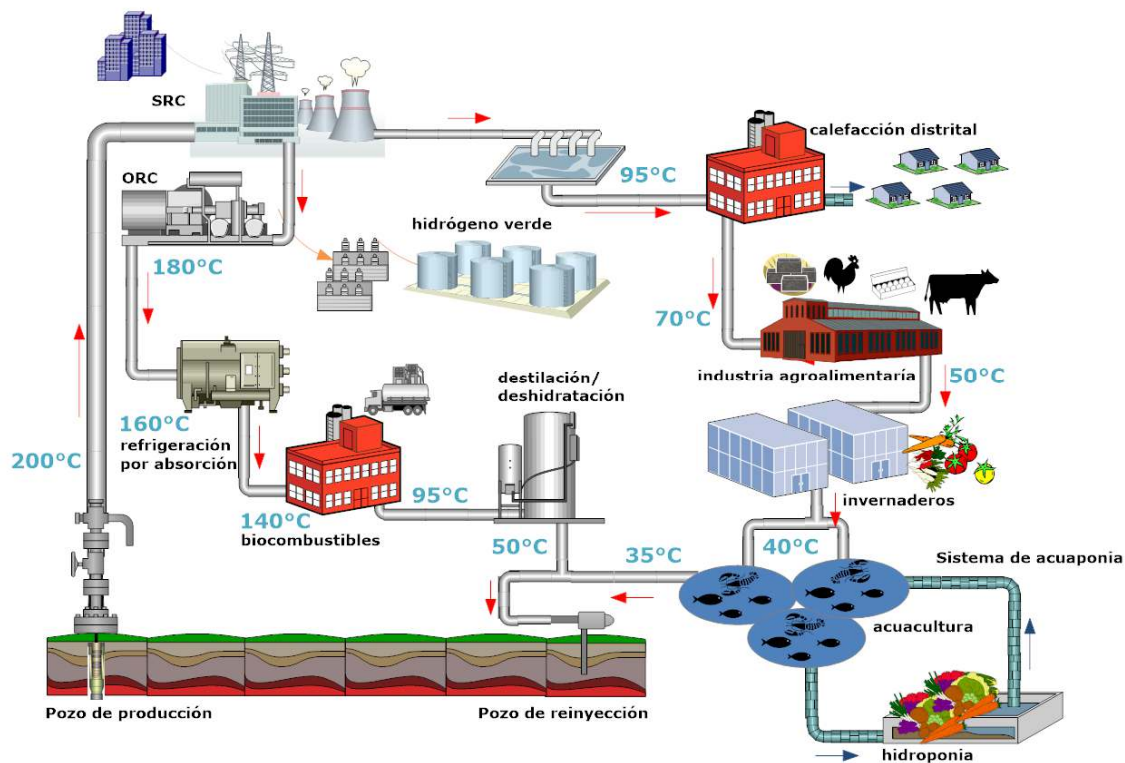


Figura A4.1. Ejemplo de un uso en cascada, delimitado por la cantidad de entalpía que cada uso directo requiere, elaboración propia

Todo esto es posible siempre que se tenga una fuente de energía geotérmica o remanentes térmicos de una planta geotermoeléctrica. México cuenta con cinco plantas: (1) Cerro Prieto, con una capacidad instalada de 570 MW eléctricos (MWe), (2) Azufres, 270.5 MWe, (3) Humeros, 119.8 MWe, (4) Domo San Pedro, 35.5 MWe y (5) Tres Vírgenes, 10 MWe (Gutiérrez-Negrín et al., 2020), ver Figura A4.2.



Figura A.4.2. Mapa del potencial geotérmico en México y ubicación de las cinco plantas geotermoeléctricas en el país. Domo San Pedro es la única planta privada propiedad de Grupo Dragón, las otras cuatro pertenecen a CFE (Prol-Ledesma y Morán-Zenteno, 2019)

Los sistemas necesarios para el aprovechamiento de la energía geotérmica son, en primera instancia, el sistema geotérmico/fuente o campo geotérmico, por lo regular son campos hidrotermales, es decir, tienen agua atrapada en la formación rocosa del subsuelo con profundidades someras (entre 500 a 1500 m). En segundo término se debe contar con el sistema de transporte de vapor. En este caso, el pozo que se perfora para la explotación del recurso permite transportar el fluido de trabajo de la fuente caliente en lo profundo de la tierra hasta la superficie. El tercer sistema es propiamente la actividad o uso que se desarrolle con la energía, la cual puede ser una geotermoeléctrica, un secador, invernadero, bomba de calor, refrigeración o todas al mismo tiempo en una modalidad de uso en cascada. Como subsistemas para efectos de hacer uso del calor son indispensables los intercambiadores de calor, ya sean de placas, de tubo y coraza o tipo radiadores. Incluso existen intercambiadores en U que se usan para calentar el fluido con el calor natural de la tierra. Estos son normalmente usados en campos de roca seca caliente. Sin embargo, son poco utilizados porque no existe la tecnología en perforación, que haga que estos pozos sean económicamente factibles, ya que se debe perforar más allá de los 2000 m, dependiendo de la región, para que la energía sea accesible. Finalmente, pero no menos importante, todo proceso debe contar con un sistema de bombeo, encargado de presurizar el fluido de trabajo para que se pueda mover de un punto a otro. En este caso los fluidos de trabajo son diversos dependiendo de los usos directos que se vayan a desarrollar. Estos pueden ser, aparte del fluido geotérmico, leche, bebidas endulzadas, malta para elaboración de cerveza artesanal, jugos para su pasteurización, algún fluido orgánico para sistemas de climatización, entre otros.

Referencias bibliográficas

- Afuar, W., Sibarani, B., Abdurrahman, G., Hendrarsakti, J. 2016. Design of tomato drying system by utilizing brine geothermal. En IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 42. 5th ITB International Geothermal Workshop (IIGW2016). Marzo 28-Abril 2, 2016. Bandung, Indonesia. DOI 10.1088/1755-1315/42/1/012020
- Arnés, E., Severiano-Pérez, P., Astier, M. 2021. Sensory profile and acceptance of maize tortillas by rural and urban consumers in Mexico. *J. Science of Food and Agriculture*, 2300-2308. 102(6):2300-2308. doi: 10.1002/jsfa.11568
- Aviña-Jiménez, H., Pérez-González, E., Alarcón-Flores, R. 2022. General Information on Geothermal Energy. In *Geothermal Energy - Challenges and Improvements*. González-A., Z.I., García Zarate, M. Chapter 5. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.107226.
- Carmona-López, Y. 2016. Caracterización fisicoquímica, microbiológica y sensorial de frutas deshidratadas mediante energía geotérmica. Tesis profesional. Facultad de Química, UNAM. Ciudad de México, México.
- DOF. 1980. Norma Mexicana NMX-F-250-S-1980. Ajo deshidratado. Dirección General de Normas. Ciudad de México, México.
- DOF. 1982. Norma Mexicana NMF-233-1982. Alimentos para humanos. Especies y condimentos. Cebolla deshidratada. Dirección General de Normas. Ciudad de México, México.
- DOF. 1994a. Norma Oficial Mexicana 092-SSA1-1994. Método para la cuenta de bacterias en placa. DOF: 12/12/1995. Ciudad de México, México.
- DOF. 1994b. Norma Oficial Mexicana 112-SSA1-1994. Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable. DOF: 10/19/1995. Ciudad de México, México.
- DOF. 1994c. Norma Oficial Mexicana 111-SSA1-1994 Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. DOF: 13/09/1995. Ciudad de México, México.
- DOF. 2014. Norma Oficial Mexicana 210-SSA1-2014 Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos. DOF: 26/06/2015. Ciudad de México, México.
- Durán-de-Bazúa, M.d.C., Mendoza-Méndez, J., Espinosa-Aquino, B. 2014. DÍA DE LA PATENTE BUAP. Cámara Aerotérmica. BUAP, Dirección de Innovación y Transferencia de Conocimiento, Centro Universitario de Vinculación y Transferencia de Tecnología OTC-BUAP. Mayo 28, 2014. Puebla, Pue., México.
- Espinosa-Aquino, B. 2001. Diseño, construcción y arranque de un sistema aerotérmico solar/gas para el tratamiento térmico de materiales biológicos [mango (*Mangifera indica* L.)]. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. Instituto de Ciencias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, BUAP. Defensa: Julio 5. Puebla, Pue. México.
- Espinosa-Aquino, Beatriz, Méndez-Mendoza, Javier (Benemérita Universidad Autónoma de Puebla), Durán-Domínguez, María-del-Carmen (Facultad de Química, UNAM). 2011. Cámara Aerotérmica. Patente No. 392970. Solicitud de Registro: Diciembre 13, 2011. Oficina Regional Centro, Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) MX/e/2011/089839. Folio MX/a/2011/013387. Puebla, Pue. México. Patente otorgada: Abril 4, 2022. Fecha de Vencimiento: 13 de diciembre de 2031. Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, Ciudad de México, México.
- FAO. 2024. Definición de extracto libre de nitrógeno. <https://www.fao.org/4/ab492s/AB492S06.htm#:~:text=Por%20otra%20parte%2C%20el%20extracto,substrayendo%20el%20total%20de%20100.>
- Fox Hodgson, S. 2020. The Vikings & Geothermal Iceland. *Geothermal Resources Council Bulletin*. 49(1):39-47. <https://geothermal.org/our-impact/stories/vikings-geothermal-iceland>
- Gilbert, R.J., De Louvois, J., Donovan, T., Little, C., Nye, K., Ribeiro, C.D., Richards, J., Roberts, D., Bolton, F.J. 2000. PHLS Advisory Committee for Food and Dairy Products Summary, Guidelines for the microbiological quality of some ready-to-eat foods sampled at the point of sale. *Communicable Disease and Public Health*. 3: 163-7. <https://www.mb-labs.com/wp-content/uploads/2014/08/Micro-Limits-Ready-to-Eat-Foods.pdf>
- Gower, J. 1975. Generalized Procrustes Analysis. *Psychometrika*. 40(1):33-51. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02291478>
- Gutiérrez-Negrín, L., Canchola, I., Romo-Jones, J., Quijano-León, J. 2020. Geothermal Energy in Mexico: Update and Perspectives. *Proceedings World Geothermal Congress 2020*. Reykjavik, Iceland. P.p. 1-13 <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGStandard/WGC/2020/01004.pdf>
- Hossain, M., Bala, B., Hossain, M., Mondol, M. 2001. Sorption isotherms and heat of sorption of pineapple. *Journal of Food Engineering*. 48:103-107.
- Lawless, H., Heymann, H. 1998. *Sensory Evaluation of Food, Principles and Practices*. Chapman & Hall Food Science Book. New York, Estados Unidos.
- López-Cerino, I., López-Cruz, I., Janjai, S., Mahayothee, B., Nagle, M., Müller, J. 2019. Mathematical modelling of the thin layer drying of pineapple (*Ananas comosus* L.): Experiment at village-scale in a greenhouse type solar dryer. *Ingeniería Investigación y Tecnología*. 1-10. <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1745-4549.2011.00668.x>
- López-Vidaña, E.C. 2011. Caracterización y evaluación de la eficiencia térmica y de secado en un deshidratador híbrido (solar-gas). Tesis de Maestría. CiiDiR Oaxaca, IPN. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/LITER_CIIDIROAX/273/L%20c%20b3pez%20Vida%20c%20b1a%20c%20E.%20C..pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Martínez-y-Moreno, G.J., Espinosa-Aquino, B., Durán-de-Bazúa, C. 1995. Propuesta de la utilización de energía combinada solar y gas LP, en la conservación de frutas (Caso particular: mango). En Memoria de la *XIX Semana Nacional de Energía Solar*. Pub. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Pp. 61-64. Octubre 2-6. La Paz, Baja California Sur, México.

-
- Ministerio de la Protección Social de Colombia. 2011. Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano de los grupos de alimentos y criterios microbio. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%201407%20de%202022.pdf
- Ministerio de Salud. 2003. Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano de los grupos de alimentos y criterios microbiológicos. Perú. https://docs.bvsalud.org/biblioref/2019/04/948675/rm_749-2012-minsa.pdf
- Ministerio de Saúde Brasil. 1978. *Resolucao* CNNPA nº 12. Frutas secas ou dessecadas. <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1978/decreto%20n.12.486,%20de%2020.10.1978.pdf>
- Naciones Unidas. 2024. *un.org*. Recuperado el 04 de 03 de 2024, de <https://www.un.org/es/global-issues/population#:~:text=Est%C3%A1%20previsto%20que%20la%20poblaci%C3%B3n,cuanto%20a%20estos%20%C3%BAltimos%20datos>
- Pastor, M.E.C., Izquierdo, L., Durán, L. 1996. Perfil descriptivo de néctares de melocotón. Evaluación de jueces y de atributos con el análisis de Procrustes generalizado. *Food Science and Technology International*. 219-230. doi:[10.1177/108201329600200404](https://doi.org/10.1177/108201329600200404)
- Pérez-González, E. 2017. Estudio de la cinética de secado de frutas y verduras mediante la teoría de Polanyi aplicado al diseño de un deshidratador de bandejas. Tesis de Maestría, UNAM. Ciudad de México, México. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/12473/Tesis.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Prol-Ledesma, R.M., Morán-Zenteno, D. 2019. Heat flow and geothermal provinces in Mexico. *Geothermics*. 78:183-200. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2018.12.009>
- Sámano-Delgado, E., Martínez-Flores, H.E., Garnica-Romo, M.G, Aranda-Sanchez, J.I., Sosa-Aguirre, C.R., Cortés-Penagos, C.d.J., Fernández-Muñoz, J.L. 2012. Optimization of solar dryer for the dehydration of fruits and vegetables. *Journal of Food Processing and Preservation*. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00668.x>
- Williams, A., Langron, S. 1984. The use of free-choice profiling for the evaluation of commercial ports. *J. Science of Food and Agriculture*. 558-568. doiI:10.1002/9780470385036.ch6a