

EFFECTO DE DOS METODOLOGÍAS DE SECADO DE RODAJAS DE PIÑA (*ANANAS COMOSUS*) SOBRE EL CONTENIDO NUTRICIONAL

EFFECT OF TWO DRYING METHODOLOGIES OF PINEAPPLE SLICES (*ANANAS COMOSUS*) ON THE NUTRITIONAL CONTENT

Pérez Romero, Leocadia Flor^{1,*}, Manrique Ysaías, Alan Jesus², Torres Terrel, Anghie Tatiana¹, Yauri Mayorga, Diana Rosa¹, Romo Huayllani, Jasiel Jemina¹, Casimiro Soriano, Enzo Martín³

¹ Departamento de Ciencias Agrarias, Facultad de Ciencias Agrarias Satipo, Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP). Av. Mariscal Castilla 3909. Distrito El Tambo, provincia Huancayo, región Junín, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0211-3362> Correo electrónico: lperezr@uncp.edu.pe Teléfono: +51 1 964400300

² Instituto Superior Tecnológico Público Alexander Von Humbolt, Villa Rica-Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6903-993X> Correo electrónico: ysaiasmanriqueaj@gmail.com Teléfono: +51 1 932439560

³ Facultad de Ciencias Agrarias Satipo, Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP). Av. Mariscal Castilla 3909. Distrito El Tambo, provincia Huancayo, región Junín, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5578-2407> Correo electrónico: e_2016101225B@uncp.edu.pe Teléfono: +51 1 926658893

⁴ Facultad de Ciencias Agrarias Satipo, Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP). Av. Mariscal Castilla 3909. Distrito El Tambo, provincia Huancayo, región Junín, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6313-4765> Correo electrónico: e_2016101231D@uncp.edu.pe Teléfono: +51 1 958839692

⁵ Facultad de Ciencias Agrarias Satipo, Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP). Av. Mariscal Castilla 3909. Distrito El Tambo, provincia Huancayo, región Junín, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2044-9596> Correo electrónico: e_2015101574c@uncp.edu.pe Teléfono: +51 1 954862601

⁶ Instituto General de Investigación. Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP). Av. Mariscal Castilla 3909. Distrito El Tambo, provincia Huancayo, región Junín, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7849-2453> Correo electrónico: ecasimiroSORIANO@gmail.com Teléfono: +51 1 997737837

* Autor de correspondencia

Recibido 25 de julio de 2020; aceptado 21 de noviembre de 2020

RESUMEN

La piña (*Ananas comosus*) es un fruto tropical caracterizado por su contenido nutricional y humedad. Por ello, es necesario extender su vida útil a través del secado sin afectar sus propiedades nutricionales. El objetivo de la investigación fue determinar el efecto de las metodologías de secado solar y por inducción de calor en estufa, sobre el contenido nutricional y las características sensoriales de

rodajas de piña. Para ello, se realizó el análisis de textura, olor, sabor y fisicoquímico de muestras de piña fresca y seca. Las muestras secadas al sol inicialmente tuvieron una humedad de 82,29%, 15,3 °brix y pH de 3,75. Las concentraciones iniciales de micronutrientes (en mg/100 g de piña) fueron 28,20 para Ca, 8,50 para Mg, 3,96 para P y 140 en K. Después del secado en ambos métodos se encontró afectación por pérdida de aroma, cambio de color, intensificación de sabor dulce, menor consistencia de pulpa e incremento en la concentración de micronutrientes por efecto de la evaporación. Comparando ambas técnicas de secado, se observaron diferencias significativas en los micronutrientes para ambos métodos ($p < 0,05$) de acuerdo a la prueba t de Student. El contenido de calcio y potasio fueron mayores después del secado en estufa (420 y 310 mg/100g de piña, respectivamente) y el contenido de magnesio y fósforo fueron mayores para el secado solar (650 y 540 mg/100g de piña, respectivamente). Los resultados indican que las características de calidad fueron mejores tras el secado por inducción eléctrica de calor en estufa.

Palabras clave: secado solar, secado en incubadora, piña, nutrientes.

Autor de correspondencia Pérez Romero,
Leocadia Flor *correo de contacto:
lperezr@uncp.edu.pe

ABSTRACT

Pineapple (*Ananas comosus*) is a tropical fruit characterized by its nutritional content and moisture. Therefore, it is necessary to extend its useful life through drying without affecting its nutritional properties. The objective of the research was to determine the effect of the methodologies of solar drying and by induction of heat in the stove, on the nutritional content of pineapple slices. For this, the sensory and physicochemical analysis of fresh and dried pineapple samples was carried out. The sun-dried samples initially had a humidity of 82,29%, 15,3 °brix and pH of 3,75. The initial concentrations of micronutrients (in

mg/100 g of pineapple) were 28,20 for Ca, 8,50 for Mg, 3,96 for P and 140 for K. After drying in both methods, affectation was found in the sensory characteristics due to loss of aroma, color change, intensification of sweet flavor, lower pulp consistency and increase in the concentration of micronutrients. Comparing both drying techniques, significant differences were observed in the micronutrients for both methods ($p < 0,05$) according to the Student's t test. The calcium and potassium content were higher after drying in the oven (420 and 310 mg/100g of pineapple, respectively) and the content of magnesium and phosphorus were higher for solar drying (650 and 540 mg/100g of pineapple, respectively). The results indicate that the quality characteristics were better after drying by electric induction of heat in an oven.

Keywords: solar drying, incubator drying, pineapple, nutrients.

INTRODUCCIÓN

La piña (*Ananas comosus*) es una fruta cítrica que crece en regiones sub-tropicales y tropicales del mundo (Chaudhary *et al.*, 2019) y se caracteriza por su sabor ácido, dulce, fresco y su textura suave. Regularmente es consumido como fruta fresca, jugos, aditivo en preparaciones, cortes diversos y otras formas de conservación. El fruto posee una considerable cantidad de nutrientes como calcio, potasio, fósforo, magnesio, vitamina C (ácido ascórbico), vitaminas del complejo B, carbohidratos, agua, fibra cruda (0,45g/100g) y otros minerales. El contenido de humedad promedio oscila entre 81,2-86,2% y sólidos totales entre 13-19% (Hossain *et al.*, 2015). Se consume como suplemento dietético,

antioxidante debido a su contenido de vitamina C y complejo B, efecto digestivo por la presencia de bromelina (enzima proteolítica), antiinflamatorio, mantenimiento del tracto intestinal por el contenido de fibra (Hemalatha y Anbuselvi, 2013), así como su utilidad para la reparación muscular y fortalecimiento de la fertilidad por su notable contenido de manganeso y vitamina C (Debnath *et al.*, 2012).

Actualmente, la piña es el tercer producto tropical de mayor volumen de consumo alrededor del mundo, detrás del plátano y la naranja, y ha tenido un crecimiento porcentual alrededor de 6% anual desde el año 2007 (FAO, 2017). El mayor productor de este fruto en el mundo es Costa Rica

(11%), con más de 2,9 millones de toneladas, seguido de Filipinas (10%) y Tailandia (8%), destinadas principalmente al mercado local. Por detrás le siguen China, Brasil y la India. Sin embargo, durante el año 2019, Costa Rica abarcó el 69% del mercado de exportación de piña cruda global (2,1 millones de toneladas), dirigida especialmente a Estados Unidos y Europa. Se estima que, para el año 2028, el mercado de piña crezca hasta 3,2 millones anuales, con un 71% del mismo cubierto por Costa Rica (FAO, 2019).

En el año 2019, el Perú se situó en el puesto 15 de mayores productores de Piña en el mundo, con un volumen de 597 mil toneladas enfocadas al consumo local (Agrodata Perú, 2020) y 50 mil a la exportación (Atlas Big, 2019). El mayor productor del fruto en el Perú es Junín y, específicamente, la región de la Selva Central de Satipo (Agraria, 2017) y la principal variedad cultivada es "Golden sweet". A pesar de ello, el cultivo se restringe al consumo local y de subsistencia sin llegar a cumplir criterios de calidad de exportación ni consumo elevados. Los intentos de brindar valor agregado son limitados y su alcance de ventas es limitado.

Uno de los aspectos elementales en la adición de valor agregado a la piña es su transformación, modificación y/o conservación. En este caso, el alto contenido de agua libre en la piña puede ser perjudicial en malas condiciones de almacenamiento, llegando a producir daños mecánicos

(abolladuras, senescencia y cortes), biológicos por la propagación de bacterias y hongos (oxidación, citólisis o actividad enzimática), además de brindarle mayor susceptibilidad a las condiciones ambientales (Zhang *et al.*, 2017) que reducen el periodo de vida promedio del fruto cosechado. A pesar de la existencia de compuestos conservantes en la misma fruta como ácido ascórbico, N-acetilcisteína, 4-hexylresorcinol, ácido isoascórbico y minerales reductores (Kumar y Shukla, 2017), estos no llegan a ser suficientes.

En ese sentido, la deshidratación es una técnica usual para la preservación de la piña, debido a que elimina el agua libre en el fruto, reduce la actividad acuosa, minimiza la actividad microbiológica y los cambios químicos y físicos del alimento (Harrison, 2008). Además abarata los costos de almacenamiento, empaque y transporte ya que reduce el volumen efectivo del fruto y prolonga su tiempo de vida (Omolola *et al.*, 2017). Algunas técnicas usuales empleadas para la deshidratación de la piña son circulación convectiva de aire caliente (Ochoa *et al.*, 2007), secado solar (Muñoz y Cabrera, 2006), microondas (Zhang *et al.*, 2006), bombeo de calor (Fayose y Huan, 2016), multiflash conductivo (Link *et al.*, 2017), osmótica (García-Huaman *et al.*, 2018), calentamiento óhmico (Kaur *et al.*, 2016) y combinaciones de las mismas (Rodríguez *et al.*, 2019; Sagar y Kumar, 2010; Pardo y Levi, 2009).

El secado solar y por inducción eléctrica de calor aparecen como métodos amigables con el ambiente, de bajo costo y efectivos, aunque con periodos prolongados de trabajo y menor capacidad de carga que las otras técnicas (Rodríguez et al., 2019; Granados-Conde, et al., 2019; Mounika et al., 2017; Serna et al, 2017). Si bien se ha evaluado la eficacia de ambas técnicas, cinética del proceso y rendimiento energético, los efectos de estos procedimientos sobre el contenido nutricional de la piña no han sido estudiados a profundidad. Tampoco se ha estudiado la

variación nutricional después del secado de la piña de variedad “Golden sweet” en el Perú y la selva central peruana.

Los objetivos de la investigación fueron: (1) utilizar las metodologías del secado solar y por inducción eléctrica de calor en estufa en rodajas de *Ananas comosus*, variedad “Golden sweet” y (2) establecer el efecto de ambas técnicas de secado sobre la calificación sensorial organoléptica, contenido de humedad y concentración de micronutrientes en la pulpa del fruto.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Población y muestra

La investigación fue aplicada, de nivel descriptivo y diseño experimental. Para la experimentación se emplearon 50 unidades de piña (*Ananas comosus*) de la variedad “Golden sweet” considerando el estado de madurez completo, índice colorimétrico (IC*) de 0,37 (tonalidad rojiza), olor característico y textura firme de acuerdo a lo reportado por García *et al.*, (2011). Además, las piñas se clasificaron como calibre “B” (peso con corona de 2,3 a 2,75 Kg), en estado maduro (color de cáscara 5), según en CODEX STAN 182-1993 (FAO, 2011).

Las muestras procedieron del anexo de Samañaro, distrito de Río Negro, provincia de Satipo en la región Junín del Perú. Se ubica a 628 msnm, entre 11°15'07”S 74°38'18”O, el clima es semitropical, con temperatura

promedio de 25°C, %HR entre 80-90% y una precipitación anual media de 3180 mm (Weather Spark, 2017).

2. Lugar de ejecución

Los análisis sensoriales, medición de proporciones y caracterización organoléptica se realizaron en el laboratorio de Análisis de Aguas, Suelos y Plantas de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP), en la ciudad de Satipo, región Junín del Perú. La preparación de muestras, el proceso de deshidratado y el análisis fisicoquímico antes y después del procedimiento se realizaron en el Laboratorio KIPATSI de la Facultad de Ciencias Agrarias Satipo de la UNCP.

3. Materiales

Para la preparación de las muestras y secado se emplearon bandejas, cuchillos de acero inoxidable, tabla de picar, mesa, cinta métrica, recipientes, selladora y bolsas transparentes.

También se usaron materiales de vidrio y porcelana para el análisis fisicoquímico: vasos de precipitación, pizeta, equipo de titulación, equipo Kjeldahl, gradilla, tubos de ensayo y crisol.

Asimismo, se emplearon los equipos y reactivos correspondientes a los métodos empleados.

4. Diseño experimental

El diseño de investigación utilizado fue pre experimental, para lo cual se utilizó 2 grupos (dos métodos de secado) comparando la variación de cualidades tras la experimentación. El modelo se muestra a continuación:

$$\frac{GE_1: X \rightarrow O_1}{GE_2: X \rightarrow O_2}$$

Dónde: GE_1 y GE_2 representan los grupos experimentales, X indica la aplicación del secado, O_1 indica el análisis del fruto después del secado solar y O_2 indica el análisis después del secado por inducción eléctrica de calor en estufa.

5. Metodología

5.1. Caracterización inicial

Se determinaron los promedios de los parámetros de control de 10 muestras de piña: longitud, diámetro, peso y temperatura de zumo. Adicionalmente se midió el contenido °brix y pH del jugo con el potenciómetro calibrado. Las muestras se analizaron por triplicado, los resultados se promediaron y se determinó la desviación estándar estadística correspondiente mediante el software SPSS y MS Excel.

Luego se realizó el análisis sensorial de las rodajas de los frutos frescos. Los parámetros evaluados fueron: aroma, color, sabor y consistencia. La evaluación se realizó a través de un grupo de 10 expertos y conocedores del comercio del fruto, de acuerdo a la escala de percepción personal.

Consecutivamente, se realizó el análisis químico de los frutos frescos empleando los métodos que se citan a continuación:

- Humedad: secado en estufa a 105°C por 12 horas aplicando el método descrito en AOAC 20.013 (AOAC, 2005).
- Fósforo: medición colorimétrica en espectrofotómetro a 660 nm por reacción entre fósforo y molibdato de amonio, de acuerdo al método 986.24 de AOAC (AOAC, 2005).
- Calcio: complexometría de iones Ca^{2+} con EDTA a pH 10 e indicador negro de eriocromo T de acuerdo al método 968.31 de AOAC (AOAC, 1984).

- Potasio: análisis turbidimétrico rápido en espectrofotómetro tras precipitación básica de potasio y tetrafenilborato de sodio (TPB) propuesto por Wittig (Flaschka y Barnard, 1960).
- Magnesio: complexometría de iones Mg^{2+} con EDTA a pH 10 tras la precipitación completa de Ca^{2+} , como extensión del método 968.31 de AOAC (AOAC, 1984).
- Cenizas: calentamiento y calcinación del fruto entre 500-600°C de acuerdo al método 7.009 (AOAC, 1984).

5.2. Deshidratación de rodajas de piña

a. Secado solar

Se separaron los frutos en buen estado y se clasificaron las piñas con tamaño uniforme. Se pelaron, lavaron y se realizaron cortes en forma de rodajas con un espesor de 1 cm. Posteriormente, se colocaron las rodajas de piñas en los tamices de secador solar de acuerdo al modelo de la figura 1. Inicialmente se determinó la humedad promedio de las muestras empleando la metodología AOAC 20.013. El secado se realizó durante 96 horas, controlando el tiempo y peso de las rodajas de piñas hasta que la variación promedio de masa en cada hora no fue mayor a $\pm 0,50$ g. De acuerdo al trabajo de Bécquer *et al.* (2020), la temperatura máxima alcanzada al interior del secador solar indirecto, considerando las condiciones de la región Junín, fue de 65,2°C.

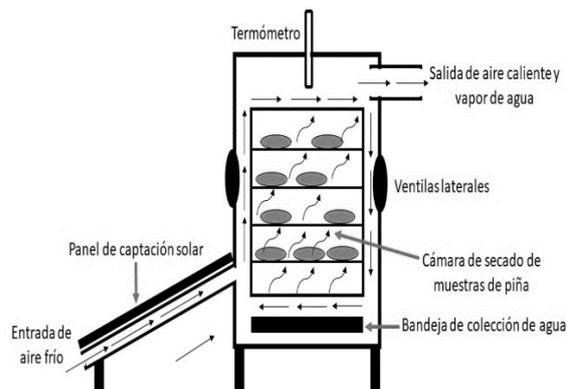


Figura 1. Diagrama de secador solar empleado para las muestras de piña.

La humedad, expresada como g de agua/100g de piña, se calculó a través de la ecuación (1) propuesta por Forson *et al.* (2007).

$$\%H = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad (1)$$

Dónde: M_i indica la masa inicial de fruto fresco antes de ser sometido al proceso de secado y M_f indica la masa final después del secado, al alcanzar el equilibrio cinético. M_f representa la masa de fruto resultante después de la evaporación de agua libre que estuvo almacenada en vacuolas, entre paredes celulares y no se encontraba ligada químicamente a biomoléculas.

Finalmente, las muestras se almacenaron en bolsas de plástico selladas al vacío, en ambiente fresco y protegidas de la luz. Se determinó el contenido de humedad de cada muestra por triplicado, los resultados se promediaron y se graficó el contenido de

humedad en cada fracción de tiempo empleando el software MS Excel.

b. Secado por inducción eléctrica de calor en estufa

Al igual que el caso anterior, se seleccionaron las piñas maduras y aquellas de tamaño y color uniforme. Se lavaron y cortaron en rodajas con un espesor de 1 cm. Posteriormente se colocaron en bandejas y se sometieron a calentamiento al interior de una estufa como se muestra en la figura 2.

El procedimiento se realizó durante 48 horas, controlando la variación temporal de masa de las rodajas que la variación promedio de masa en cada hora no fue mayor a $\pm 0,50$ g. se determinó la humedad promedio de las muestras empleando la metodología AOAC 20.013. La temperatura promedio de la cámara de secado fue de $65 \pm 0,5$ °C.

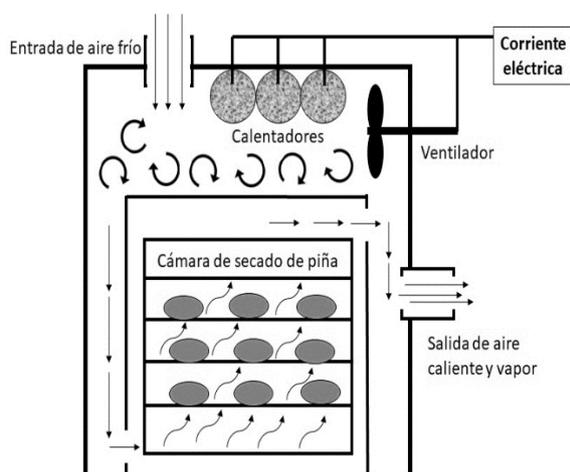


Figura 2. Diagrama de secado eléctrico por inducción de calor en estufa empleado para secado de las muestras de piña.

Las muestras secas se sellaron al vacío, almacenaron en un ambiente fresco y aislado de la luz. La humedad resultante se calculó empleando la ecuación (1).

5.3. Caracterización final y procesamiento de datos

Las muestras secas producto de ambos métodos se analizaron fisicoquímicamente, con el objetivo de determinar la diferencia entre las técnicas empleadas, considerando los parámetros iniciales y determinando la humedad, fósforo, calcio, potasio y magnesio.

Finalmente, se realizó el análisis comparativo en base seca de los resultados de los métodos de secado sobre la calidad nutricional de las rodajas de piña a través de los promedios, desviación estándar y t de student con nivel de significancia $p < 0,05$. Se emplearon los softwares SPSS y MS Excel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Caracterización general de *Ananas comosus* fresco variedad *Golden sweet*

Los resultados obtenidos de la caracterización general de las muestras de piña estudiadas se indican en la tabla 1. El diámetro ecuatorial y masa ubicaron a la piña en calibre grande. El grado °brix determinado fue de 15,3, el cual cumple con el CODEX STAN 182-1993 que menciona que el contenido de sólidos solubles totales en la pulpa del fruto deberá ser como mínimo 12° Brix y es acorde con lo obtenido por García *et al.* (2013) con 14°brix.

El pH obtenido se aproxima al determinado por Ascurra *et al.* (2018) quien obtuvo 3,7. Las características iniciales de *A. comosus* indican que las muestras estudiadas presentaron excelentes condiciones para su manipulación y secado.

Tabla 1. Resultados de caracterización fisicoquímica de la piña (d.e. = desviación estándar)

Característica	Resultado (\pm d.e.)
Longitud (cm)	22 \pm 2,00
Diámetro (cm)	45 \pm 3,50
Peso (g)	2650 \pm 200,20
Temperatura de zumo (°C)	31,90 \pm 0,02
°Brix	15,30 \pm 1,21
pH (a 29.2°C)	3,75 \pm 0,12

El contenido nutricional del fruto fresco comparado con el descrito por Hossain *et al.*,

(2015) para la variedad Honey queen se muestra en la tabla 2. No existen estudios sobre el contenido nutricional de la variedad Golden sweet sembrados en la selva central de Perú, por lo que la referencia empleada brindó una noción aproximada en este aspecto.

Tabla 2. Contenido nutricional de la piña fresca en el presente estudio y lo descrito por Hossain *et al.*, (2015).

Análisis	Característica	Este estudio	Hossain <i>et al.</i> , (2015)
Contenido de agua	Humedad (%)	82,29 (\pm 0,03)	86,20
Micronutrientes (mg/100g de piña)	Calcio	28,20 (\pm 1,03)	16,00
	Magnesio	8,50 (\pm 2,53)	12,00
	Fósforo	3,96 (\pm 0,56)	11,00
	Potasio	140,00 (\pm 34,15)	150,00

Los contenidos de los nutrientes en los frutos presentan diferencias significativas debido a las características del suelo de cultivo y las técnicas de fertilización empleadas (Victor *et al.*, 2019; Aliaga y Garzón, 2016;).

En general, las características y concentración de nutrientes son menores a las descritas en la referencia. El contenido de humedad se encuentra en el rango de 69 a 89%, siendo bastante aceptable y la pérdida pudo deberse a las condiciones de almacenamiento antes de la adquisición del producto (Aguilar, 2007; Morales *et al.*, 2001).

Por otra parte, el contenido de calcio fue mayor gracias al tipo de suelo y las técnicas de cultivo. El contenido de magnesio, fósforo y potasio fue menor que la referencia. Adicionalmente, las limitaciones en la precisión de las técnicas empleadas que se realizaron por vía húmeda pudieron afectar notablemente los resultados obtenidos, ya que Hossain *et al.*, (2015) empleó análisis proximal con absorción atómica y cromatografía.

2. Variación temporal de contenido de agua en el secado de rodajas de piña

Las muestras sometidas a secado solar tuvieron una humedad inicial de 82,26% y las sometidas a estufa de 82,32%. Estos contenidos son poco menores a lo determinado por Macías-Ganchozo *et al.* (2017) en 86,36% y Khanom *et al.* (2015) en 86,45%.

Los resultados muestran que la eliminación completa de agua libre se realizó aproximadamente a los 420 minutos para el secado solar y 300 minutos para el secado en estufa con un contenido de humedad promedio final de 21,00 %.

Esto es similar a lo obtenido por Muñoz y Cabrera (2006), tras la aplicación de secado indirecto y contacto directo a muestras de piña en México con una humedad final de 26,70%. Durante el tiempo restante, el secado tuvo como objetivo eliminar el contenido de agua en la matriz celular, en las

vacuolas y asociadas a moléculas y paredes celulares (Femenia *et al.*, 2007).

El proceso de secado solar y por estufa se desarrollaron de acuerdo a lo investigado por Iglesias *et al.* (2017), Femenia (2017) y Abano y Sam-Amoa (2011). En ambos tipos de secado se siguió el mismo mecanismo de acción aunque con velocidades diferentes.

Durante la primera hora, existe una disminución rápida del contenido de agua debido a la evaporación superficial, independientemente de la temperatura y calor recibido. Consecutivamente, la velocidad de evaporación va disminuyendo dependiendo de la temperatura de secado y el contenido de agua eliminada es cada vez menor hasta alcanzar una variación insignificante, como se observa en la figura 3.

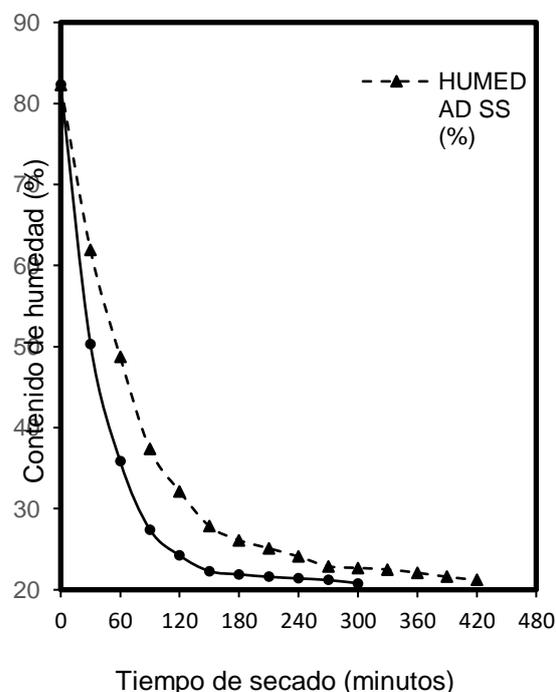


Figura 3. Diagrama de deshidratación de piñas en el tiempo, empleando secador solar (SS) y secado en estufa (SE).

En el caso del secado solar, el equilibrio se alcanzó después de los 240 minutos y el secado por incubadora después de los 180 minutos. En este punto, el agua activa libre se ha eliminado y el calentamiento produjo eliminación de agua en el contenido celular, paredes y otras biomoléculas.

Es necesario declarar que, si bien el secado solar permitió un secado con menor gasto de energía, se limitó a horas con radiación solar. El correcto aislamiento y mejores condiciones de secado permitirían que condiciones climáticas, bacterias y hongos no afecten decisivamente la calidad del fruto sometido a este proceso. El secado por inducción eléctrica en estufa fue más constante y efectivo, aunque el costo inherente al uso de corriente eléctrica puede resultar muy elevado en dependencia de la masa de producto secado (Sakif *et al.* 2018; Maisnam *et al.* 2017).

3. Caracterización sensorial y organoléptica de la piña tras la deshidratación

La apariencia de las muestras de piñas tras la deshidratación completa se muestra en la figura 4. Tras la deshidratación y el continuo sometimiento al calor, las muestras presentaron diferencias notables como se muestra en la tabla 3. La caracterización sensorial de la *A. comosus* se realizó utilizando la escala sensorial utilizada por Khanom *et al.* (2015).

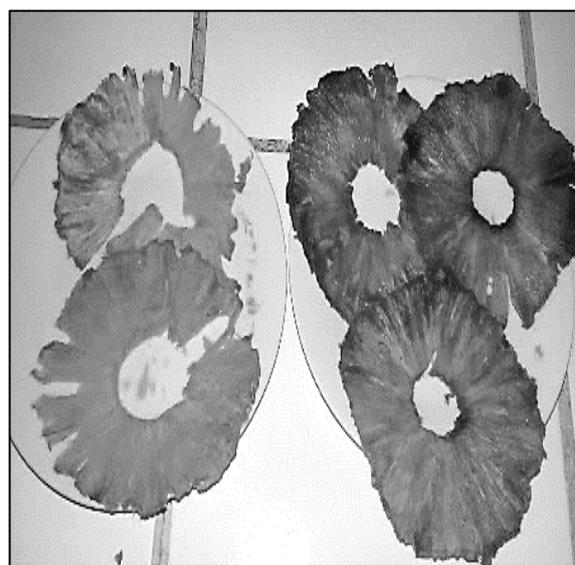


Figura 4. Fotografía de muestras secas de rodajas de piña. A la izquierda, resultado del secado por inducción eléctrica de calor en estufa. A la derecha, resultado del secado solar

Tabla 2. Variación de las características sensoriales tras el secado de *A. comosus*.

Característica	Fruto fresco	Secado solar	Secado en incubadora
Aroma	Propio de la variedad Golden sweet	Débil	Débil
Color	Amarillo claro	Amarillo café	Amarillo ámbar

Sabor	Dulce. Propio de la variedad Golden sweet	Más dulce. Propio de la variedad Golden sweet	Más dulce. Propio de la variedad Golden sweet
Grosor	1 cm	< 1 cm	< 1 cm
Consistencia de la pulpa	Semisólida húmeda	Quebradiza	Quebradiza

Los resultados indican que existieron variaciones notables en las características sensoriales de *A. comosus* tras ambas técnicas de secado. En el caso de las muestras tras el secado se han visto afectadas principalmente el aroma, el color y la consistencia de la pulpa.

El aroma de la piña está constituido principalmente por ésteres metílicos, etílicos y azufrados entre 5 y 10 átomos de carbono (50-90%). En menor grado se compone de lactonas (5-10%), compuestos furánicos, ácidos, cetonas y alcoholes (2-5%), cuyas proporciones varían en función de la variedad (Sinuco y Morales, 2005). Sin embargo, todas estas moléculas son termolábiles y volátiles, por lo que tienden a oxidarse o desaparecer entre 50-80°C (Omolola *et al.*, 2017). La pérdida de aroma debido al proceso de calentamiento pudo deberse al sometimiento de las muestras a temperaturas mayores a 60°C.

En la misma línea, el color de la pulpa de *A. comosus* se debe a la presencia de pigmentos carotenoides (α y β carotenos), criptoxantinas, seaxantinas y luteína en proporciones dependientes de la variedad (Ferreira *et al.*, 2016). Estos compuestos presentan grupos hidroxilo, carbonilo y alta

insaturación que llegan a oxidarse durante el calentamiento a diversas temperaturas. El cambio de color hacia el marrón se debe a una serie de reacciones no enzimáticas que alteran el matiz y coloración del fruto. A nivel molecular, existe una modificación hacia la absorción del color rojo en el espectro electromagnético al calentarse entre 45 y 60°C (Ramallo y Mascheroni, 2012). Mientras mayor exposición tenga el fruto al calor, el matiz irá disminuyendo y la absorción al rojo crecerá, oscureciéndose progresivamente (Omolola *et al.*, 2017). En el caso de las muestras estudiadas, se observó que las mayores temperaturas se alcanzaron al interior del secador solar ya que se observó un cambio de color más intenso, esto probablemente se deba a la mayor temperatura alcanzada en el sistema al medio día.

Por otra parte, la intensificación del sabor y la disminución del espesor de las muestras están relacionados. Los principales azúcares disueltos en la matriz acuosa de *A. comosus* son glucosa, xilosa, arabinosa y galactosa (Femenia *et al.*, 2007), además de vitaminas, minerales, ácido ascórbico, enzimas y otras sustancias que le brindan el sabor característico (Hossain *et al.*, 2015).

El secado por calentamiento ocasiona la desnaturalización de proteínas, destruye las paredes celulares por compresión al evaporarse el agua y degrada notablemente las moléculas más termolábiles (el ácido ascórbico reduce hasta 90% su concentración) aunque tiende a retener y concentrar los azúcares presentes (Omolola *et al.*, 2017). El calentamiento a menos de 80°C también favoreció la ruptura de disacáridos, concentrando los monosacáridos como la glucosa o fructuosa, lo que le confiere mayor intensidad en el sabor percibido (Haqbeen *et al.*, 2019; Rodríguez *et al.*, 2019; Omolola *et al.*, 2017).

El cambio de textura también se encuentra relacionada con la evaporación. La compresión de las paredes celulares tras la evaporación y la apertura de los poros aumentan su dureza, volviéndola más resistente al esfuerzo mecánico (Sagar y Kumar, 2010). Sin embargo, la tensión de falla decreció con el secado debido al incremento de la dureza en los tejidos vegetales. Ambas variables dependen directamente de la temperatura de secado (Omolola *et al.*, 2017; Ramallo y Mascheroni, 2012) e influyeron sobre los resultados obtenidos.

4. Análisis de humedad y micronutrientes en *Ananas comosus* después del secado

La cantidad de sólidos solubles totales después del secado se encontró en el rango de 11 a 14%. El contenido en azúcares también se incrementó y fue determinado gracias a la percepción sensorial, aunque no se midieron en el experimento (Mounika *et al.*, 2017). Después del secado solar, se obtuvieron concentraciones (en mg/100g de piña) para calcio de 240 ($\pm 10,0$), magnesio de 650 ($\pm 40,0$), fósforo de 540 ($\pm 30,0$) y potasio de 120 ($\pm 10,0$). En el secado por inducción de calor en estufa se obtuvieron concentraciones (en mg/100g de piña) para calcio de 420 ($\pm 20,0$), magnesio de 460 ($\pm 30,0$), fósforo de 510 ($\pm 30,0$) y potasio de 310 ($\pm 20,0$).

Durante el proceso de secado, la cantidad de agua intra y extracelular disminuyó como resultado de la evaporación. Sin embargo, los micronutrientes no volátiles disueltos (calcio, magnesio, fósforo y potasio) permanecieron al interior de las células, motivo por el cual se determinó un incremento de concentración aparente (Oré-García *et al.*, 2020). La comparación de medias y prueba t de student para determinar diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ambas técnicas, se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Prueba t para comparación de medias de rodajas de *A. comosus*.

t	gl	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
			Inferior	Superior

Calcio	5,582	2	0,225	0,05	0,398
	5,582	1,6	0,225	0,001	0,449
Magnesio	-8,356	2	-0,23	-0,34	-0,109
	-8,356	1,3	-0,23	-0,42	-0,026
Fósforo	0,849	2	0,030	-0,12	0,182
	0,849	2	0,030	-0,12	0,182
Potasio	-8,974	2	-0,19	-0,27	-0,096
	-8,974	1,1	-0,19	-0,38	0,017

Los resultados indican que, si bien ambas técnicas producen una degradación en las características nutricionales de *A. comosus*, las menores pérdidas y menor exposición a la degradación biológica, así como mejores características organolépticas se obtuvieron con el secado por inducción eléctrica en estufa a pesar del gasto en energía eléctrica que conlleva. El secado solar requiere de mayor tiempo, está sujeto a la presencia del sol, además el resultado indica menor calidad nutricional y bajas cualidades organolépticas que restan valor al producto a pesar del ahorro económico notable.

5. Modificación de características sensoriales después del secado de *A. comosus*

El secado por aire caliente es una técnica que produce una notable pérdida nutricional después de aplicarse. Las reacciones de degradación de biomoléculas se aceleran a con el incremento de temperatura y la disminución del contenido de agua (Ramallo y Mascheroni, 2017). Si bien el calentamiento por un tiempo prolongado provocó la

degradación de proteínas, azúcares y fibra; así como la pérdida de antioxidantes característicos (Rodríguez et al., 2018; Omolola et al., 2017; Abano et al., 2010), estos parámetros no fueron medidos directamente en el presente experimento. Sin embargo, la modificación de la composición química pudo identificarse gracias a las pruebas sensoriales realizadas (color, textura y percepción de sabor).

La degradación química fue mayor en el secado solar debido al mayor tiempo de exposición y el calentamiento no uniforme. Esto se evidenció en el cambio de color naranja más intenso como resultado de la generación de compuestos coloreados (cetonas, ácidos carboxílicos, aldehídos entre otros), pérdida de olor por volatilización de aldehídos, disminución del grosor en un 58% y cambio a textura más quebradiza. En adición, se determinó una reducción de hasta 42,1% en el contenido de calcio y 61,3% en el contenido de potasio por degradación bacteriana

La degradación química alteró significativamente la percepción en el sabor,

principalmente en el incremento de concentración de azúcares por evaporación, desnaturalización de proteínas y oxidación de ácido ascórbico que le brindaron un sabor característico en fresco. La modificación de sabor es común en todas las técnicas de deshidratación por aire caliente (Sagar y Kumar, 2009), siendo necesario emplear técnicas de pretratamiento o metodologías combinadas para optimizar la calidad del producto final (Khanom *et al.*, 2015; Silva *et*

al., 2014). La modificación en la textura como aumento de dureza y mayor fracturabilidad (Rodríguez *et al.*, 2018) fue resultado de la pérdida de turgencia celular por efecto de la evaporación. El estrés físico, además ocasionó reducción de espacios intercelulares, aumento en la porosidad, cambio en la forma de las células y compresión de las paredes celulares (Omolola *et al.*, 2017; Haqbeen *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

Se evaluó la variación organoléptica y nutricional de *Ananas comosus* de la variedad "Golden sweet" sometido a dos distintos métodos de secado: (1) solar indirecto durante 96 horas y (2) inducción eléctrica en estufa durante 48 horas. Las muestras de rodajas de piña se monitorearon durante el procedimiento y los resultados finales se analizaron mediante percepción sensorial y análisis fisicoquímico por vía húmeda.

Después del secado se determinó pérdida de aroma, cambio de color hacia tonalidad roja oscura (más intenso en el secador solar), incremento en la intensidad de sabor dulce y pérdida de consistencia de la pulpa por efecto de la desnaturalización de proteínas, oxidación de biomoléculas, pérdida de ácido ascórbico, concentración de azúcares y pérdida de turgencia celular.

En el análisis de micronutrientes se determinó aumento en la concentración de calcio, magnesio, fósforo y potasio por efecto de la evaporación del agua durante el calentamiento. El contenido de calcio y potasio fueron mayores después del secado en estufa y el contenido de magnesio y fósforo fueron mayores para el secado solar, presentando ambas técnicas diferencias significativas en el resultado del secado.

Los resultados indican que las percepciones más negativas de las características sensoriales, color y sabor fueron más acentuados para el secado solar que el secado por inducción eléctrica en estufa. Las diferencias yacen en el discontinuo calentamiento (horas de radiación) y la larga exposición a condiciones ambientales del primero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abano, E. E., & Sam-Amoah, L. K. (2011). *Effects of different pretreatments on drying characteristics of banana slices*. APRN Journal of Engineering and Applied Science, 6(1), 121-129.
- Agraria (2017). *Áreas de cultivo de piña en Perú habrían crecido 30% este año*. Lima, Perú: Agencia Agraria de Noticias. Disponible de: <https://agraria.pe/noticias/areas-de-cultivo-de-pina-en-peru-habrian-crecido-30-este-ano-15530>. Consultado el 19/08/2020.
- Aguilar, S. (2007). *Secado de rodajas de piña (Ananas comosus) previamente deshidratadas en soluciones osmóticas de sacarosa-agua-etanol* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín. San Martín, Perú.
- Aliaga Quispe, D. A., & Garzón Flores, B. (2016). *Efecto de la quema de purmas sobre la calidad del suelo en el Distrito De Pichanaki-Chanchamayo* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Junín, Perú.
- AOAC [Association of Official Agricultural Chemists]. (1984). *Official Methods of Analysis*, Washington D.C., Estados Unidos: AOAC international.
- AOAC [Association of Official Agricultural Chemists]. (2005) *Official Methods of Analysis*, Washington D.C., Estados Unidos: AOAC international.
- Ascurra, J. M., Clavo, G. V., Cabrera, D. M., Herrera, F. F., & Hidalgo, V. P. (2018). *Deshidratación De La Piña (Ananas comosus) por Métodos Combinados (Osmosis Convencional)*. BIG BANG FAUSTINIANO, 6(4), 11-13.
- Atlas Big (2019). *Los principales países productores de piña del mundo*. España: Atlasbig.com. Disponible de: <https://www.atlasbig.com/es-es/paises-por-produccion-de-pina>. Consultado el 19/08/2020.
- Bécquer Frauberth, C. L., Leonardo Ederson, P. C., Torres, E. T., Massipe Hernández, J. R., & Quispe Flores, M. (2020). *Velocidad de secado en tres tipos de secadores solares del Aguaymanto (Physalis Peruviana L.)*. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 28(2), 248-254.
- Chaudhary, V., Kumar, V., & Vaishali, S. (2019). *Pineapple (Ananas comosus) product processing A review*. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 8(3), 4642-4652.
- Debnath, P., Dey, P., Chanda, A., & Bhakta, T. (2012). *A Survey on Pineapple and its medicinal value*. Scholars Academic Journal of Pharmacy, 1(1), 24-29.
- FAO [Food and agricultura organization]. (2011). *Codex Stan 182-1993. Normas del Codex para la Piña*. Nueva York, Estados Unidos: FAO publishing. Disponible de: <http://www.fao.org/input/download/standar>

- ds/313/CXS_182s.pdf. Consultado el 19/08/2020.
- FAO [Food and agricultura organization]. (2017). *Perspectivas mundiales de las principales frutas tropicales*. Nueva York, Estados Unidos: FAO publishing. Disponible de: http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Tropical_Fruits/Documents/Tropical_Fruits_Spanish2017.pdf Consultado el 19/08/2020.
- FAO [Food and agricultura organization]. (2019). *Medium-Term Outlook. Prospects for global production and trade in bananas and tropical fruits 2019-2028*. Nueva York, Estados Unidos: FAO publishing. Disponible de: <http://www.fao.org/3/ca7568en/ca7568en.pdf> Consultado el 19/08/2020.
- Fayose, F., & Huan, Z. (2016). *Heat pump drying of fruits and vegetables: Principles and potentials for Sub-Saharan Africa*. International journal of food science, 1(1), 9673029.
- Femenia, A., Simal, S., Taberner, C. G., & Rosselló, C. (2007). *Effects of heat treatment and dehydration on pineapple (Ananas comosus L. Merr) cell walls*. International Journal of Food Engineering, 3(2), 29-35.
- Ferreira, E. A., Siqueira, H. E., BOAS, E. V. V., Hermes, V. S., & Rios, A. D. O. (2016). *Bioactive compounds and antioxidant activity of pineapple fruit of different cultivars*. Revista Brasileira de Fruticultura, 38(3), 1-7.
- Flaschka, H.; Barnard Jr., A., (1960). *Advances in Analytical Chemistry and Instrumentation*, New York, Estados Unidos: Interscience Publishers Inc.
- Forson, F. K., Nazha, M. A. A., Akuffo, F. O., & Rajakaruna, H. (2007). *Design of mixed-mode natural convection solar crop dryers: Application of principles and rules of thumb*. Renewable energy, 32(14), 2306-2319.
- García Huamán, F., Bejarano Luján, D., Paredes Quiroz, L., Vega Rojas, R., & Encinas Puscán, J. (2018). *La deshidratación osmótica mejora la calidad de Ananas comosus deshidratada*. Scientia Agropecuaria, 9(3), 349-357.
- García Pereira, A., Muñiz Becerá, S., Hernández Gómez, A., González, L. M., & Fernández Valdés, D. (2013). Análisis comparativo de la cinética de deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la Piña (*Ananas comosus*, variedad Cayena lisa). Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 22(1), 62-69.
- García Tain, Y., Pérez Padrón, J., García Pereira, A., & Hernández Gómez, A. (2011). *Determinación de las propiedades de calidad de la piña (Ananas comosus) variedad Cayena Lisa almacenada a temperatura ambiente*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 20(1), 62-65.

- Granados-Conde, Clemente, Torrenegra-Alarcon, Miladys, Leon-Mendez, Glicerio Arrieta Pineda, Yurica Jimenez-Nieto, Jaime Carriazo-Marmolejo, Luz. (2019). Deshidratación osmótica método alternativo de conservación de alimentos. Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN 1692-7125. Volumen 17 N° 2. Pp: 101 -114..
- Haqbeen, N., Sagar, V., Rudra, S., & Prasad, K. (2019). *Effect of pre-treatments and drying methods on the quality attributes of dehydrated pineapple slices*. Journal of Horticulture and Postharvest Research, 2(2), 157-166.
- Harrison, J. A., & Andress, E. L. (2008). *Preserving food: drying fruits and vegetables*. University of Georgia cooperative Service. Athens, Estados Unidos: Department of agriculture cooperating. Disponible de: https://nchfp.uga.edu/publications/uga/uga_dry_fruit.pdf Consultado el 19/08/2020.
- Hemalatha, R., & Anbuselvi, S. (2013). *Physicochemical constituents of pineapple pulp and waste*. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 5(2), 240-242.7
- Hossain, M. F., Akhtar, S., & Anwar, M. (2015). *Nutritional value and medicinal benefits of pineapple*. International Journal of Nutrition and Food Sciences, 4(1), 84-88.
- Iglesias Díaz, R., José Gómez, R. A., Lastres Danguillecourt, O., López de Paz, P., Farrera Vázquez, N., & Ibáñez Duharte, G. R. (2017). *Diseño, construcción y evaluación de un secador solar para mango Ataulfo*. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 8(8), 1719-1732.
- Kaur, R., Gul, K., & Singh, A. K. (2016). *Nutritional impact of ohmic heating on fruits and vegetables—A review*. Cogent Food & Agriculture, 2(1), 1159000.
- Khanom, S. A. A., Rahman, M. M., & Uddin, M. B. (2015). *Preparation of Pineapple (Ananas comosus) Candy Using Osmotic Dehydration Combined With Solar Drying*. The Agriculturists, 13(1), 87-93.
- Kumar, S., & Shukla, R. N. (2017). *Different pre-treatments and storage stability of dehydrated pineapple slices*. International Journal of Agricultural Science and Research, 7(2), 413-424.
- Link, J. V., Tribuzi, G., & Laurindo, J. B. (2017). *Improving quality of dried fruits: A comparison between conductive multi-flash and traditional drying methods*. LWT, 84, 717-725.
- Macías-Ganchozo, E. R., Bello-Moreira, I. P., Trueba-Macías, S. L., Anchundia-Muentes, X. E., Anchundia-Muentes, M. E., & Bravo-Moreira, C. D. (2018). *Design, development and performance of solar dryer for pineapple (Ananas comosus (L.) Merr.), mamey (Mammea americana L.) and banana (Musaparadisiaca L.) fruit drying*. Acta Agronómica, 67(1), 30-38.

- Maisnam, D., Rasane, P., Dey, A., Kaur, S., & Sarma, C. (2017). *Recent advances in conventional drying of foods*. Journal of Food Technology and Preservation, 1(1), 25-34.
- Morales, M., Hernández, M. S., Cabezas, M., Barrera, J., & Martínez, O. (2001). *Caracterización de la maduración del fruto de pina nativa (Ananas comosus L. Merrill) CV. India*. Agronomía colombiana, 18(1-3), 63-69.
- Mounika, J., Rao, M. R., & Bhasker, V. (2017). *Development of value addition of pineapple (Ananas comosus) chunks using solar dehydration technology*. MOJ Food Process Technol, 4(1), 18-23.
- Muñoz, D. M., & Cabrera, G. (2006). *El secado directo e indirecto de piña*. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 4(1), 58-66.
- Ochoa, M. R., Kessler, A. G., Pirone, B. N., Márquez, C. A., & De Michelis, A. (2007). *Analysis of shrinkage phenomenon of whole sweet cherry fruits (Prunus avium) during convective dehydration with very simple models*. Journal of Food Engineering, 79(2), 657-661.
- Omolola, A. O., Jideani, A. I., & Kapila, P. F. (2017). *Quality properties of fruits as affected by drying operation*. Critical reviews in food science and nutrition, 57(1), 95-108.
- Oré-García, J., Pérez-Sáez, J., Janampa-Quispe, K., Cerón-Balboa, O., y Morales-Morales, O. (2020). *Deshidratación de frutas en un módulo solar multipropósito*. Tecnia, 30(1), 59-65.
- Pardo, M., & Leiva, A. (2009). *Combination of technologies for the dehydration of pineapple*. Ingeniería y Competitividad, 11(1), 57-65.
- Paternina, M. G., Alvis, A., & Mogollon, C. G. (2015). *Modelado de la cinética de secado de mango pre-tratadas con deshidratación osmótica y microondas*. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA, 13(2), 22-29.
- Ramallo, L. A., & Mascheroni, R. H. (2012). *Quality evaluation of pineapple fruit during drying process*. Food and bioproducts processing, 90(2), 275-283.
- Rodriguez, A., Bruno, E., Paola, C., Campañone, L., & Mascheroni, R. H. (2019). *Experimental study of dehydration processes of raspberries (Rubus Idaeus) with microwave and solar drying*. Food Science and Technology, 39(2), 336-343.
- Sagar, V. R., & Kumar, P. S. (2010). *Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review*. Journal of food science and technology, 47(1), 15-26.
- Sakif, A. S., Saikat, N. M., & Eamin, M. (2018). *Drying and Dehydration Technologies: A Compact Review on Advance Food Science*. Journal of

- Mechanical and Industrial Engineering Research, 7(1), 1-10.
- Serna F. Tiana, Contreras S. Yucelys, Lozano P. Maria; Salcedo M. Jairo, Hernández R. Jorge,. (2017). Variación del método de secado en la fermentación espontánea de almidón nativo de yuca. *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN 1692-7125. Volumen 15 N° 1. Pp:50 -65.
- Silva, K. S., Fernandes, M. A., & Mauro, M. A. (2014). *Effect of calcium on the osmotic dehydration kinetics and quality of pineapple*. *Journal of Food Engineering*, 134(1), 37-44.
- Sinuco, D. C., & Morales Pérez, A. L., (2005). *El aroma de la piña (Ananas comosus L.): estudio y desarrollo de aromatizantes naturales y artificiales*, Bogotá, Colombia: Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia.
- Victor, S. L., Garg, M. K., & Pawar, K. (2019). *Effect of Different Drying Techniques on the Quality Attributes of Pineapple Powder*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(2), 324-341.
- Weather Spark. (2017). *El clima promedio en Satipo*. Estados Unidos: Cedar Lake Ventures Inc. Disponible de: <https://es.weatherspark.com/y/23283/Clima-promedio-en-Satipo-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o> Consultado el 19/08/2020.
- Zhang, M., Chen, H., Mujumdar, A. S., Tang, J., Miao, S., & Wang, Y. (2017). *Recent developments in high-quality drying of vegetables, fruits, and aquatic products*. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(6), 1239-1255.
- Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A. S., & Wang, S. (2006). *Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables*. *Trends in Food Science & Technology*, 17(10), 524-534.