



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS

DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE LOS ALIMENTOS Y TECNOLOGÍA
QUÍMICA

PROGRAMA DE MAGISTER DE CIENCIA DE LOS ALIMENTOS

**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO DE *PHYSALIS PERUVIANA*
LINNAEUS POR AIRE CALIENTE ASISTIDO CON MICROONDAS.
CARACTERIZACIÓN Y COMPARACIÓN CON SECADO POR
LIOFILIZACIÓN”**

Tesis para optar al grado académico de Magíster en ciencia de los alimentos y
memoria para optar al título profesional de ingeniera en alimentos, por:

JAVIERA BELÉN YÁÑEZ QUEZADA

DIRECTOR DE TESIS: DR. LUIS PUENTE DÍAZ

V°B°

Santiago de Chile, 2019

*“Oh, Capitán, ¡mi Capitán! Nuestro azaroso viaje ha terminado;
El barco capeó los temporales, el premio que buscamos se ha ganado;
Cerca está el puerto, ya oigo las campanas, todo el mundo se muestra alborozado...”*

Walt Whitman, 1865.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Luis y Sandra, por acompañarme a través de este trayecto algunas veces tortuoso, por enseñarme de la resiliencia y perseverancia, ayudarme a forjar un carácter resistente y a la vez sensible, por enseñarme sobre la empatía, bondad, paciencia y alegría. A mi familia completa, por guiarme y amarme incondicionalmente a pesar de las diferencias.

A los docentes que fueron parte de manera positiva en mi formación profesional, entregando herramientas de aprendizaje y conocimiento que fui capaz de poner en práctica a través de esta jornada. Al profesor Luis Puente por su dedicación y pasión a la investigación y esta hermosa carrera, por animarme a seguir adelante siempre con alegría. A los técnicos del laboratorio de Procesos de Alimentos, don Carlos Zamora y don Sergio Marconi, por brindar siempre una ayuda desinteresada, una conversación agradable y compañía con calor de hogar.

A todas las personas que conocí en esta facultad que me dieron un poco de su luz durante este camino, entregando risas, consejos, buenos momentos y apoyo en aquellos que fueron más difíciles. A esos pocos amigos y amigas que lograron ser más especiales y ganarse un espacio en mi corazón y que permanecerán toda la vida, siendo parte del gran legado que me dejó esta universidad, uniéndose a mí en las distintas etapas, algunos al comienzo siendo “mechones”, otros al término del pregrado y finalmente aquellos que durante este último tiempo de mi vida se han convertido en pilares fundamentales.

Al proyecto Fondecyt 1171485 por financiar esta investigación. Al profesor Antonio Zanocco por facilitar sus instalaciones del laboratorio de Cinética y Fotoquímica de la Universidad de Chile y al profesor Kong Shun Ah-Hen, por la misma labor en el laboratorio de Alimentos de la Universidad Austral.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 <i>Physalis peruviana</i> L.	1
1.2 Proceso de secado por microondas	3
1.2.1 Fundamento teórico del calentamiento por microondas.....	4
1.2.2 Mecanismo de secado con energía de microondas	9
1.2.3 Combinación de microondas con otras tecnologías.....	11
1.3 Proceso de secado por liofilización.....	12
1.3.1 Etapa de Congelación	15
1.3.2 Secado primario por sublimación del hielo.....	16
1.3.3 Secado secundario.....	18
1.4 Diseño experimental: Método de Superficie de Respuesta	19

1.4.1	Términos utilizados en MSR.....	20
1.4.2	Diseños experimentales para ajustar superficies de respuesta.....	22
1.5	Fundamentos y descripción del producto Fruit leather	23
1.5.1	Ingredientes utilizados en el fruit leather.....	25
1.5.2	Procesos involucrados para la obtención de la lámina.....	28
2.	HIPOTESIS	30
3.	OBJETIVOS	31
3.1	Objetivo general.....	31
3.2	Objetivos específicos	31
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	33
4.1	Materia prima.....	33
4.2	Diseño experimental del secado por aire caliente asistido con microondas	33
4.2.1	Factores experimentales	33
4.2.2	Objetivo de la optimización.....	34
4.2.3	Construcción del modelo para la optimización.....	35
4.2.4	Optimización de respuestas múltiples mediante deseabilidad	36
4.3	Secado por liofilización	36
4.4	Adición de <i>physalis peruviana</i> como ingrediente a una elaboración.....	37

4.5	Estudio del secado	38
4.6	Caracterización de la fruta fresca y los productos de secado.....	39
4.6.1	Análisis de sustancias bioactivas.....	39
4.6.2	Análisis físico.....	42
4.7	Análisis de la formulación	44
4.7.1	Curvas de secado.....	45
4.7.2	Análisis de sustancias bioactivas.....	45
4.7.3	Análisis de color	46
4.7.4	Análisis de textura	46
4.8	Análisis estadístico	47
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
5.1	Optimización del proceso de secado por aire caliente asistido con microondas.....	49
5.1.1	Tiempo	50
5.1.2	Carotenoides totales.....	52
5.1.3	Contenido polifenoles totales.....	54
5.1.4	Optimización múltiple.....	57
5.2	Estudio del secado por aire caliente asistido con microondas.....	63
5.2.1	Curvas de secado.....	63
5.2.2	Ajuste de la curva a modelos matemáticos de secado.....	66

5.3	Resultados análisis de sustancias bioactivas	70
5.3.1	Contenido de carotenoides totales.....	70
5.3.2	Contenido de polifenoles totales.....	72
5.3.3	Capacidad antioxidante	73
5.3.4	Contenido de ácido ascórbico.....	73
5.4	Resultados análisis físico.....	76
5.4.1	Humedad.....	76
5.4.2	Análisis de color	77
5.4.3	Capacidad de retención de agua	80
5.4.4	Microscopia electrónica de barrido	81
5.5	Adición de physalis como ingrediente a fruit leather	84
5.5.1	Humedad.....	84
5.5.2	Curvas de secado.....	84
5.5.3	Análisis de sustancias bioactivas.....	86
5.5.4	Análisis de color	90
5.5.5	Análisis de textura	93
6.	CONCLUSIONES.....	96
7.	BIBLIOGRAFIA	101
8.	ANEXOS	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores codificados y naturales para los factores experimentales.	34
Tabla 2: Combinaciones experimentales para la optimización.....	35
Tabla 3: Resultados de las variables respuestas según el modelo propuesto .	49
Tabla 4: Condiciones para optimización de múltiples respuestas.	57
Tabla 5: Comparación de variables entre el óptimo predicho y el ajustado	62
Tabla 6: Parámetros estadísticos para secado con aire caliente asistido por microondas y secado convencional a 60°C.	67
Tabla 7: Contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante en tratamientos de secado.....	70
Tabla 8: Análisis de color en tratamientos de secado	77
Tabla 9: Compuestos bioactivos y actividad antioxidante en fruit leather	86
Tabla 10: Análisis de color en fruit leather	90
Tabla 11: Análisis de textura en fruit leather	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Physalis peruviana L. con y sin cáliz.....	1
Figura 2: Representación de ondas electromagnéticas en el plano XYZ.....	5
Figura 3: Mecanismos de polarización en el calentamiento por microondas	7
Figura 4: Gradiente de temperaturas en los distintos tipos de calentamientos	10
Figura 5: Etapas del proceso de liofilización	14
Figura 6: Fases de la sublimación	18
Figura 7: Superficie de respuesta tridimensional	21
Figura 8: Fruit leather o lamina de fruta	24
Figura 9: Diagrama de bloques elaboración de Fruit leather	29
Figura 10: Diagrama de Pareto para la variable Tiempo.....	51
Figura 11: Optimización de la variable tiempo	52
Figura 12: Diagrama de Pareto para la variable Contenido de carotenoides totales.	53
Figura 13: Optimización de la variable Contenido de carotenoides totales.....	54
Figura 14: Diagrama de Pareto para la variable Contenido de polifenoles totales	55
Figura 15: Optimización de la variable Contenido de polifenoles totales.	56
Figura 16: Gráfico de superficie de respuesta para la optimización múltiple. ..	58
Figura 17: Optimización de múltiples respuestas para el modelo propuesto ...	59
Figura 18: Diagrama de Pareto para la Deseabilidad observada.....	60
Figura 19: Nuevo diagrama de Pareto para D con el factor AA excluido	61

Figura 20: Análisis gráfico de color en tratamientos de secado	79
Figura 21: Microestructura de Physalis peruviana fresco, pertenecientes a la cáscara (21-A) y semilla (22-B).....	81
Figura 22: Microestructura de la cáscara de Physalis peruviana deshidratada por liofilización (22-A) y deshidratada por secado con aire caliente asistido por microondas (22-B)	82
Figura 23: Microestructura de la semilla de Physalis peruviana deshidratada por liofilización (23-A) y deshidratada por secado con aire caliente asistido por microondas (23-B)	83
Figura 24: Análisis gráfico de color en fruit leather	92

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Curva de secado con aire caliente (46,1°C) asistido por microondas (180 W)	64
Gráfica 2: Curva de secado en horno convectivo a 60°C	65
Gráfica 3: Ajuste de curva de secado por aire caliente asistido con microondas a 3 modelos matemáticos	68
Gráfica 4: Ajuste de curva de secado por aire a 60°C a 3 modelos matemáticos	69
Gráfica 5: Curva de secado de láminas de manzana sin physalis (SPH), con physalis liofilizada (PHL) y physalis deshidratada por aire caliente asistido con microondas (PHM).....	85

RESUMEN “OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO DE *PHYSALIS PERUVIANA LINNAEUS* POR AIRE CALIENTE ASISTIDO CON MICROONDAS. CARACTERIZACIÓN Y COMPARACIÓN CON SECADO POR LIOFILIZACIÓN”

Physalis peruviana Linneus es fruto clasificado como berrie, buena fuente de pro vitamina A, minerales, vitamina C y complejos de vitamina B. Además, presenta diversas propiedades funcionales y medicinales, siendo su consumo principalmente fresco. El secado de alimentos es uno de los procesos más utilizados para preservar alimentos y se fundamenta en la eliminación del agua presente en los alimentos mediante la aplicación de calor. El método más común de secado disminuye el contenido de humedad del alimento a través de la aplicación de aire caliente, sin embargo, tiene un impacto negativo en la calidad global del producto, por lo que se estudió el secado por aire caliente asistido con microondas y por liofilización.

El objetivo de esta investigación fue optimizar el proceso de secado de la pulpa de *physalis* a través de aire caliente asistido con microondas, con el estudio de la potencia del microondas y la temperatura del aire caliente, a fin de lograr maximizar el contenido de carotenoides y polifenoles totales y minimizar el tiempo de tratamiento. Se encontró un efecto significativo de la potencia del microondas, en donde a mayor potencia, menor tiempo de tratamiento y mayor degradación de las sustancias bioactivas estudiadas. La temperatura del aire solo tuvo un efecto significativo en el tiempo de tratamiento.

Se comparó la curva de secado del producto optimizado con una curva de secado convencional a 60°C, indicando una reducción de tiempos de tratamiento cercano al 80%. Se comparó el perfil de sustancias bioactivas presentes en el producto optimizado con la pulpa de physalis fresca y liofilizada (carotenoides totales, polifenoles totales, ácido ascórbico, capacidad antioxidante), encontrando diferencias significativas en ambos tratamientos, indicando un mayor mantenimiento de dichas sustancias en la pulpa liofilizada. Por otra parte, la pulpa liofilizada obtuvo una mejor capacidad de retención de agua y mantenimiento de color. Al realizar un análisis de microestructura, se observaron diferencias en la conservación de la piel y semilla del fruto al aplicar el tratamiento con calor y radiación.

Se propuso agregar la pulpa de physalis deshidratada a una formulación llamada fruit leather o lámina de fruta, a partir de manzanas Fuji, en una proporción de 30/70. Se encontraron diferencias significativas en el perfil de sustancias bioactivas de las láminas, en donde aquella con physalis liofilizada presentó el mayor aumento de dichas sustancias en comparación a la lámina sin physalis. Ambos formatos de pulpa deshidratada añadida disminuyeron el pardeamiento de la lámina. Al estudiar la textura del alimento, se encontró una disminución de la elasticidad y una mejora de la masticabilidad del producto. La adición de physalis deshidratada tanto por liofilización como por aire caliente asistido con microondas se puede considerar como una alternativa para la fortificación de alimentos.

**ABSTRACT “OPTIMIZATION OF *PHYSALIS PERUVIANA LINNAEUS*
DRYING PROCESS BY HOT AIR ASSISTED WITH MICROWAVE.
CHARACTERIZATION AND COMPARISON WITH FREEZE-DRYING ”**

Physalis peruviana Linneus is a fruit classified as berrie, a good source of vitamin A, minerals, vitamin C and vitamin B complexes. In addition, it has several functional and medicinal properties, its consumption being mainly fresh. Food drying is one of the most used processes to preserve food and is based on the elimination of water present in food through the application of heat. The most common method of drying decreases the moisture content of the food through the application of hot air, however, has a negative impact on the overall quality of the product, so hot air assisted with microwave drying and by freeze-drying was studied.

The objective of this research was to optimize the drying process of physalis pulp through hot air assisted with microwave drying, with the study of microwave power and hot air temperature, in order to maximize the total carotenoid content and total polyphenols and minimize treatment time. A significant effect of microwave power was found, where the higher the power, the less treatment time and the greater degradation of the bioactive substances studied. Air temperature only had a significant effect on the treatment time.

The optimized product drying curve was compared with a conventional drying curve at 60 ° C, indicating a reduction of treatment times close to 80%. The profile

of bioactive substances present in the optimized product was compared with the fresh and lyophilized physalis pulp (total carotenoids, total polyphenols, ascorbic acid, antioxidant capacity), finding significant differences in both treatments, indicating greater maintenance of said substances in the lyophilized pulp. On the other hand, the lyophilized pulp obtained a better capacity for water retention and maintenance of color. When performing a microstructure analysis, differences were observed in the conservation of the skin and seed of the fruit when applying the heat and radiation treatment.

It was proposed to add dehydrated physalis pulp to a formulation called fruit leather, made from Fuji apples, at a rate of 30/70. Significant differences were found in the profile of bioactive substances in the fruit leathers, where the one with lyophilized physalis showed the greatest increase in these substances compared to the fruit leather without physalis. Both formats of added dehydrated pulp decreased browning of the sheet. When studying the texture of the food, a decrease in elasticity and an improvement in the chewiness of the product were found. The addition of dehydrated physalis both by lyophilization and by microwave-assisted hot air can be considered as an alternative for fortifying foods.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 *Physalis peruviana* L.

Aspectos botánicos

La planta de *Physalis peruviana* L. es semi arbustiva, anual o perenne dependiendo del clima: más templado o más tropical, respectivamente. El fruto es una baya carnosa en forma de globo u ovoide, de color amarillo naranja, formada por carpelos soldados entre sí, de piel delgada y lustrosa, se encuentra envuelta en un cáliz globoso, formado por cinco sépalos que la protege contra insectos, pájaros, patógenos y condiciones climáticas extremas (Altamirano y Milton, 2010). En la figura 1 se puede apreciar el fruto *Physalis peruviana* L.



Figura 1: *Physalis peruviana* L. con y sin cáiz.

Es originario de Perú, aunque existen indicios de que proviene de Brasil y fue aclimatada en el altiplano de Perú y Chile, donde crece como planta silvestre y semi-silvestre en zonas altas entre los 1500 y 3000 metros sobre el nivel del mar (Morán, 2012). Aunque el cultivo de *Physalis peruviana* L. se extiende por toda la región de los andes sudamericanos y se ha encontrado durante dos décadas en los mercados desde Venezuela a Chile, es en Colombia donde se cultiva para la exportación llegando a liderar como el mayor productor seguido por Sudáfrica (Puente et al., 2011).

Este fruto recibe muchas denominaciones como por ejemplo *Physalis peruviana* en Chile, Golden Berry en países de habla inglesa, uchuva en Colombia, uvilla en Ecuador y aguaymanto en Perú. Esta planta pertenece a la familia Solanácea y género *Physalis*, contando con más de ochenta variedades en estado silvestre. *Physalis peruviana* L. se ha clasificado en eco tipos o plantas procedentes de diferentes regiones o países, que se diferencian por el tamaño, el color y el sabor, la forma del cáliz y el porte de la planta. Actualmente se cultivan tres ecotipos de *Physalis peruviana* L. originarias de Colombia, Kenia y Sudáfrica (Morán, 2011).

Composición fisicoquímica y nutricional

De acuerdo con trabajos anteriores, la fruta fresca de *Physalis peruviana* L. presenta valores de densidad aparente, $1,038 \pm 0,0054$ g/ml 1.038 ± 0.0054 g/ml y actividad de agua de $0,988 \pm 0,002$ (Puente et al, 2011). Los beneficios asociados

al fruto de *Physalis peruviana L.* son principalmente debido a su composición nutricional. Un aspecto relevante este fruto es su coloración amarillo-naranja cuando está maduro, con altos niveles de minerales (Fe y P), vitaminas (A y C) y fibra (Marín, 2010). Posee un alto contenido de azúcares y β -caroteno (1730 UI de Vitamina A por cada 100 gramos de producto), este último muy importante en la prevención de ciertas enfermedades como el cáncer. Su gran contenido en flavonoides y compuestos polifenólicos la hacen poseedora de propiedades antiinflamatorias y antioxidantes (Marín et al., 2010). En el anexo 1 se aprecia en detalle el análisis proximal del fruto.

1.2 Proceso de secado por microondas

Las aplicaciones de la energía de microondas han sido ampliamente estudiadas en las últimas décadas en un amplio espectro. Se ha encontrado que el secado asistido por microondas ofrece ventajas sobre los secadores convencionales de aire caliente, tales como: los tiempos de secado más cortos, el aumento de la eficiencia energética y el potencial de la reducción del tamaño de los equipos de secado requeridos (Altan et al, 2005). La mayoría de los estudios llevados a cabo con energía de microondas se han centrado principalmente en su capacidad de calentamiento debido a la transferencia directa hacia el material que permite un calentamiento rápido y volumétrico de la muestra, mientras evita complicaciones como los amplios gradientes de

temperatura entre la superficie y el interior tal como se presenta en los métodos convencionales (Bélanger et al, 2008).

Entre las principales ventajas se pueden citar una mayor eficiencia en la difusión de calor y materia, desarrollo de gradientes internos de humedad que aumentan la velocidad de secado, la posibilidad de trabajar a menores temperaturas superficiales y una mejora en la calidad de producto obtenido (Mascheroni, 2002). Entre las desventajas se encuentran un calentamiento no uniforme del producto, costos de instalación altos y eficiencia energética baja. No obstante, el secado con microondas se considera viable para alimentos que requieren tiempos de secado cortos y una producción significativa, es decir, aquellos alimentos a los cuáles debe eliminarse una baja cantidad de agua. Asimismo, se puede utilizar el secado con microondas en aquellos productos que tienen riesgo de formación de costra en su superficie. Por otra parte, el costo del secado combinado puede reducirse cuando se usa el secado por microondas junto con otro método de menor costo (Della Rocca, 2010).

1.2.1 Fundamento teórico del calentamiento por microondas

Las microondas son una radiación electromagnética no ionizante que ocupa en el espectro electromagnético una banda de frecuencias (f) que abarca desde los 300 MHz hasta los 300 GHz, limitada por el infrarrojo lejano y las radiofrecuencias, con longitudes de onda (λ) que van desde 1 m hasta 1 mm. El

que las microondas sean una radiación electromagnética significa que son una combinación de un campo eléctrico y magnético, que se auto propaga a través del espacio transportando energía de un sitio a otro. En las ondas electromagnéticas los campos eléctrico y magnético son perpendiculares entre sí y ambos, a su vez, perpendiculares a la dirección de propagación de la onda, tal como se representa en la figura 2. (Menéndez 2017).

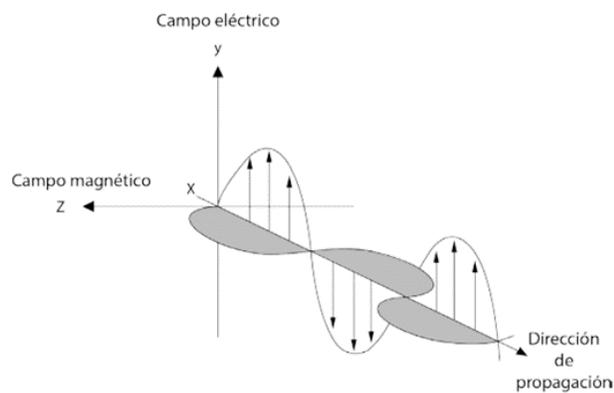


Figura 2: Representación de ondas electromagnéticas en el plano XYZ

Con el fin de evitar perturbaciones en las telecomunicaciones, la utilización del espectro electromagnético se encuentra restringida, por diversos organismos internacionales, tanto con respecto a las frecuencias susceptibles de ser utilizadas, como a la anchura de su banda. Así, las frecuencias más comúnmente usadas en calentamiento con microondas son las de 2450 MHz y 915 MHz, lo que significa que la onda cambia su polarización (orientación de las oscilaciones) 2450 o 915 millones de veces por segundo (Arun, 1995). En Chile, la frecuencia utilizada en microondas domésticos es de 2450 MHz. Puesto que las partículas

con carga y las moléculas polares tienden a orientarse siguiendo la polarización de campo eléctrico; tenderán, en el caso de ser irradiadas por energía microondas, a acoplarse a las oscilaciones del campo eléctrico rotando o vibrando a razón de 2450 o 915 millones de veces por segundo; lo que se traduce en una generación de calor (la energía que transportan las microondas se transfiere a la sustancia en forma de calor) y un aumento de la temperatura. Este fenómeno se conoce como calentamiento por polarización dipolar en el caso de moléculas dipolares (como las del agua), o conducción iónica, caso de las sustancias iónicas (Menéndez, 2017).

En el caso de existir electrones libres cuyos desplazamientos están restringidos por obstáculos, tales como bordes de partícula (como por ejemplo algunos materiales carbonosos con electrones de la capa p deslocalizados) el cambio de polarización de las microondas hace que los electrones se desplacen intentando seguir la orientación del campo eléctrico. Esto hace que regiones macroscópicas del material se conviertan en zonas positivas o negativas, fenómeno conocido como polarización por carga del espacio (figura 3). Debido al denominado efecto Maxwell-Wagner esta polarización cambiante se traduce en una producción de calor y aumento de la temperatura (Menéndez 2017).

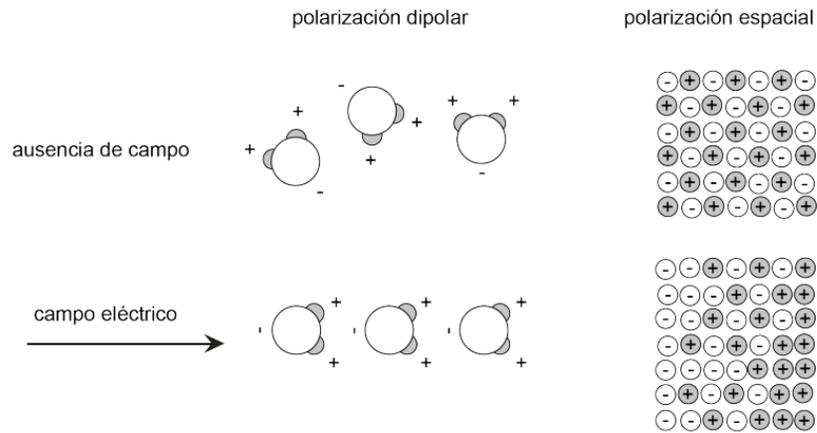


Figura 3: Mecanismos de polarización en el calentamiento por microondas

En el caso de la conducción iónica, las moléculas cargadas se aceleran por la acción del campo eléctrico, generándose un movimiento en sentido opuesto a su polaridad. Este movimiento provoca el choque de los iones con otras moléculas, a las que ceden parte de la energía cinética haciendo que se muevan en la misma dirección y colisionen con más moléculas. Cuando la polaridad cambia, los iones son acelerados en sentido opuesto. Puesto que esto ocurre millones de veces por segundo, se producen gran número de colisiones que provocan un calentamiento térmico (Zlotorzynski, 1995). De lo anteriormente expuesto puede inferirse que sustancias como el agua o algunos materiales carbonosos, que poseen moléculas dipolares o electrones deslocalizados respectivamente, se calientan fácilmente cuando son irradiados con microondas (de frecuencia e intensidad apropiadas). Sin embargo, otros materiales que no

poseer cargas eléctricas o dipolos no se calientan en absoluto al ser irradiados por las microondas.

Los materiales que interactúan con la radiación microondas para producir calor se denominan dieléctricos o absorbentes de microondas. La capacidad de un material para ser calentado en presencia de un campo de microondas se describe por su tangente de pérdida dieléctrica $\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon'$. La tangente de pérdida dieléctrica se compone de dos parámetros: la constante dieléctrica o permitividad real (ϵ'), que mide la tendencia de un material a polarizarse al ser sometido a un campo eléctrico, tratando de contrarrestarlo y el factor de pérdidas dieléctricas o permitividad imaginaria (ϵ''), que mide la capacidad del material para disipar la energía en forma de calor (Zlotorzynski, 1995; Meredith, 1998). En general, un material dieléctrico sometido a una radiación microondas se calentará tanto mejor cuanto mayor sea su factor de pérdida dieléctrica.

En otros materiales las microondas se reflejan en su superficie en vez de disiparse en forma de calor. Estos materiales son los denominados conductores. Un tercer grupo de materiales son transparentes a las microondas, es decir la radiación microondas se trasmite en su interior sin interaccionar en absoluto y los traspasa como si no existiesen. Estos materiales se conocen como aislantes o transparentes a las microondas. Los materiales aislantes, al ser transparentes a las microondas, suelen usarse para soportar los materiales que van a ser tratados con microondas pudiendo adoptar forma de: recipientes, platos, cintas

transportadoras, etc. Ejemplo de este tipo de materiales son el vidrio, el cuarzo, algunos materiales cerámicos refractarios, etc.

El calentamiento volumétrico de las muestras va acompañado por la capacidad de la energía de microondas para penetrar el interior de la muestra e inducir un calentamiento más profundo en la muestra (Alvarado, 2012).

1.2.2 Mecanismo de secado con energía de microondas

El mecanismo de secado y la dirección de la transferencia de calor cuando se utiliza la energía microondas difieren, de forma significativa, de los métodos convencionales de secado. Cualquier tipo de calentamiento convencional implica siempre una transmisión de calor desde un cuerpo de mayor temperatura (fuente de calor) a otro de temperatura menor. Esta transmisión de calor puede tener lugar mediante tres tipos de mecanismos diferentes: conducción, convección y radiación; pero en todos los casos implica la existencia de una fuente de calor externa al cuerpo que se calienta. De esta manera, existe siempre un gradiente de temperatura donde las partes más externas, o más expuestas, de cuerpo que se calienta tienen una temperatura superior a las más internas o menos expuestas. En el caso del calentamiento mediante radiación microondas la situación es totalmente diferente. Como se ha visto anteriormente, las microondas transmiten energía directamente a las partículas (a aquellas que sean capaces de interactuar con las microondas) del propio cuerpo. Por tanto, el

calentamiento se produce en el interior del cuerpo (lo que se conoce como calentamiento volumétrico) y, en principio, no existe este gradiente de temperaturas. De hecho, y dado que las pérdidas de calor son mayores en las superficies del cuerpo, podríamos considerar que el calentamiento se produce de dentro hacia fuera; al revés que en el calentamiento convencional. Esta situación, no obstante, corresponde a una simplificación del fenómeno, ya que la homogeneidad del calentamiento va a estar supeditada a la homogeneidad en la composición del cuerpo a calentar y a la penetración de las microondas en el objeto irradiado (Thotenson, 1999; Zhang, 2006; Zlotorzynski, 1995). En la figura 4 se muestra las diferencias entre un calentamiento convencional y no por microondas.

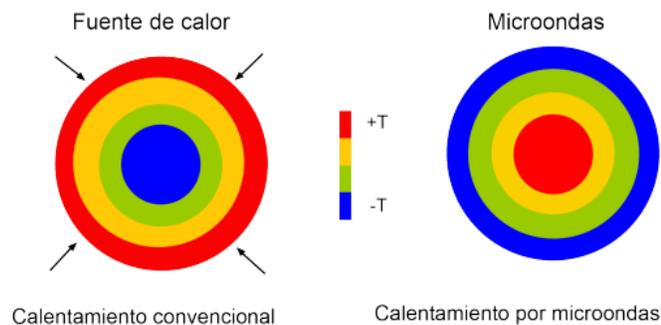


Figura 4: Gradiente de temperaturas en los distintos tipos de calentamientos

A diferencia de lo que sucede en los métodos de secado convencionales, en los sistemas de secado que utilizan energía microondas, debido a la generación de calor interna, la transferencia de masa se debe principalmente al gradiente de

presión total establecido, debido a la rápida generación de vapor dentro del material. La mayor parte de la humedad se vaporiza antes de salir de la muestra. Si el contenido inicial de humedad del producto a secar es muy alto y la presión dentro de él se eleva rápidamente, el líquido se puede eliminar de la muestra bajo la influencia de un gradiente de presión total. Cuanto mayor sea la humedad inicial del producto a secar, mayor es la influencia del gradiente de presión en la eliminación de masa total. Por lo tanto, existe, una especie de acción de bombeo, que fuerza al líquido hacia la superficie, por lo general en forma de vapor. (Menéndez, 2017).

1.2.3 Combinación de microondas con otras tecnologías

Los avances recientes en las tecnologías de secado por microondas se han proporcionado al procesamiento de tecnologías alternativas con una mayor uniformidad de temperatura. Al combinar las ventajas del secado con microondas como un secado rápido, volumétrico y a bajas temperaturas, con métodos que aseguran la uniformidad del proceso, se puede contar con un procesamiento de la materia prima sumamente eficiente y de alta calidad nutricional si se compara con productos obtenidos a partir de la deshidratación con secado convectivo. Se ha estudiado la combinación del microondas con vacío (VAM), en donde el vacío mejora el proceso de secado creando una gradiente de presión relativamente bajo el punto de ebullición del agua y por lo tanto baja la temperatura de la

muestra, bajando la temperatura del procesamiento debido al vacío (Kumar y Shrivastava, 2017). Los aceites esenciales son productos valiosos compuestos, en donde se destacan vitaminas, flavonoides, terpenos y algunos minerales. La extracción de aceites esenciales requiere de tratamientos que no utilicen temperaturas que degraden dichas sustancias termolábiles, debido a esto, se ha estudiado la extracción asistida con microondas, en donde se ha visto una alta reducción de tiempo de extracción y un aumento en el rendimiento de la cantidad y calidad del producto. La principal ventaja de su uso es que las ondas electromagnéticas son capaces de romper paredes celulares y vesículas de aceite y rápidamente liberar el aceite y sus constituyentes al solvente exterior (Phat Dao, Ching Nguyen, Hien Tran, 2019).

1.3 Proceso de secado por liofilización

T.A Jennings (1993) define la liofilización como un proceso de estabilización en el cual el material primero se congela y se concentra el solvente, comúnmente el agua, reduciéndolo mediante sublimación y desorción, a niveles que no sostendrán más el crecimiento biológico o las reacciones químicas.

En la liofilización el material original está constituido por un núcleo central del material congelado. A medida que el hielo se sublima, el plano de sublimación, que se inicia en la superficie exterior, penetra al interior dejando atrás una corteza porosa de material ya seco. El calor para el calor latente de sublimación del hielo

equivalente a 2838 kJ/kg (1220 BTU/lbf), procede por conducción a través de la corteza del material seco. En algunos casos, también se conduce a través de la capa congelada desde la parte posterior. El vapor de agua que se forma se transfiere a través de la capa del material seco. El agua congelada se sublima a menos de 0°C y a una presión de 627 Pa o menos. Por consiguiente, las transferencias de calor y de masa se verifican simultáneamente (Okos, et al 1992; Geankoplis 1999; Fellows 2000).

El calor transferido desde la fase gaseosa por conducción, convección o radiación llega a la superficie seca y se transfiere por conducción hasta la capa congelada. En algunos casos, el calor también pasa a través del material congelado para llegar al plano de sublimación. Durante este proceso hay absorción de calor y hay que evitar que la mezcla supere la temperatura eutéctica, a fin de que durante todo el proceso permanezca en el estado sólido.

El tiempo total de secado debe ser lo suficientemente largo como para que el contenido final de humedad sea inferior al 5% en peso, y evitar así la degradación del producto durante su almacenamiento. Procediendo de este modo, los productos orgánicos termolábiles conservan sus propiedades indefinidamente y recuperan su forma y estado primitivo al hidratarlos.

El proceso más común de liofilización se basa en que los gases que rodean el material suministran a la superficie del sólido el calor de sublimación necesario.

Después, el calor se transfiere con conducción a través del material seco hasta la superficie congelada.

El flujo específico de calor a la superficie del material se verifica por convección, y una vez en el sólido seco, por conducción hasta la superficie de sublimación. El flujo de calor de la superficie es igual al que pasa por el sólido seco, superponiendo un estado pseudo estacionario, los perfiles de temperatura y humedad en el interior del alimento durante la liofilización dependen de las velocidades de transferencia de masa y calor. El calor se transfiere a través del frente de sublimación entre las fases congelada y seca del producto. (Okos, et al 1992; Geankoplis 1999; Fellows 2000, Orrego A 2003).

En la figura 5 se muestran las tres etapas de la liofilización, en relación con la temperatura versus tiempo.

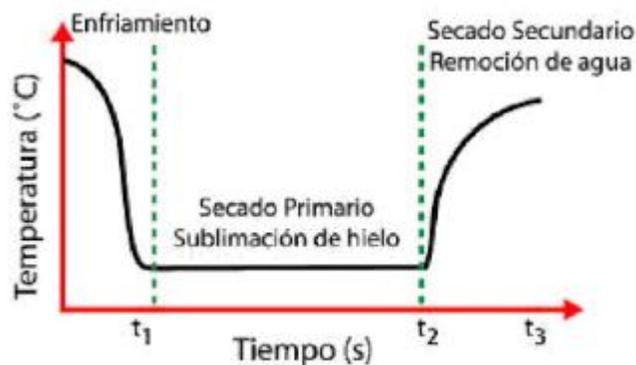


Figura 5: Etapas del proceso de liofilización

1.3.1 Etapa de Congelación

Cada producto debe congelarse de manera tal que garantice que sufrirá pocas alteraciones en el proceso posterior de sublimación. Se busca que el producto ya congelado tenga una estructura sólida sin interstición en los que haya líquido concentrado para propiciar que todo el secado ocurra por sublimación. En los alimentos se pueden obtener distintas mezclas de estructuras luego de la congelación que incluyen cristales de hielo, eutécticos, mezcla de eutécticos y zonas vítreas amorfas. Estas últimas son propiciadas por la presencia de azúcares, alcoholes, cetonas, aldehídos y ácidos, así mismo como por las altas concentraciones de sólidos en el producto inicial (Orrego, 2003).

Debido a que el agua en estado vítreo está aun en forma líquida, la presión de vapor de agua en el vidrio, según la Ley de Raoult, tenderá a ser menor que la del hielo a la misma temperatura. Como resultado de la baja velocidad de evaporación del agua, el sistema vítreo puede fundirse cuando la temperatura aumenta, es decir, la movilidad del agua será mayor que cero, sin implicar ninguna cantidad significativa de calor de fusión (Luyet, 1996 y Rey, 1977).

La congelación de un producto puede tener efectos dañinos debido a la concentración de las sales o azúcares en la región intersticial de la matriz. Si el crecimiento del hielo en la formulación es relativamente lento, entonces el ingrediente activo en el fluido intersticial está expuesto por largos periodos a una solución electrolítica concentrada y bajo estas condiciones, las proteínas se

desnaturalizan o se vuelven inservibles para el uso final predeterminado. En las células, la formación de una solución de sal concentrada causará un incremento de la presión osmótica, el exceso de agua que ingresa a la célula destruye la membrana. La reducción de exposición a una solución electrolítica concentrada se logra mediante una congelación rápida del producto (Jennigs 1993; Pujol et al, 1996).

1.3.2 Secado primario por sublimación del hielo

El proceso de secado como tal puede ocurrir o no a bajas presiones, pero en tales condiciones es mucho más eficiente el proceso difusivo. El paso de hielo a vapor requiere de una gran cantidad de energía que es suministrada en alto vacío pues la interfase de secado se mueve hacia el interior de la muestra y el calor tiene que atravesar capas congeladas (sistemas liofilizados en bandeja, sin granular) o secas (en gránulos) generándose un considerable riesgo de fusión del material intersticial o quemar la superficie del producto que ya está seco (Orrego, 2003).

Sublimación es la condensación directa del vapor a sólido. Este proceso es mucho más eficiente a presiones mínimas debido a que el agua se extrae por un impulso originado por el gradiente de presión total (Alvarado 1996; Perry 1997). La sublimación se utiliza para materiales que no se pueden purificar con facilidad mediante las operaciones unitarias mejor conocidas. Se ha observado un interés

creciente por la separación de mezclas de componentes volátiles mediante métodos de sublimación (Jennigs 1993). Las tres fases que se distinguen en la figura 6 son:

Fase 1: Llamada etapa conductiva. Inicialmente, por el calentamiento de la muestra, la velocidad de sublimación crece rápidamente hasta llegar a un máximo. El tiempo para agotar esta fase es relativamente corto, en ella se lleva a cabo la mayor parte de la remoción de agua del producto (entre un 75-90%), siendo el mecanismo preponderante la transferencia de calor por conducción.

Fase 2: Primera etapa difusiva. Muestra un descenso importante de velocidad de sublimación debido a la formación de una capa porosa de material seco que opone resistencia creciente al flujo de calor y al vapor a medida que procede el secado.

Fase 3: Segunda etapa difusiva. La velocidad de sublimación continúa decreciendo de forma que se aproxima a cero. Esto debido a que el calor necesario para realizar el agua ligada es más alto que el calor de sublimación. Puesto que la difusividad de los aromas disminuye sensiblemente cuando la humedad es pequeña es posible en esta etapa incrementar la temperatura de la calefacción y del producto hasta valores del orden de 50°C, dependiendo del material que se trate.



Figura 6: Fases de la sublimación

1.3.3 Secado secundario

Después del secado primario, todavía hay agua no congelada absorbida en la superficie de la estructura porosa y en los grupos polares dentro del material seco. Como la energía de adsorción es bastante alta, la desorción del agua ligada también necesita mayor temperatura y suficiente cantidad de calor. Sin embargo, la temperatura de desorción no debe ser demasiado alta, de lo contrario causaría desnaturalización del material (Hua et al. 2010).

El secado por desorción, también conocido como secado secundario, se calienta a una temperatura más alta, de modo que el agua no congelada unida absorbe el calor de desorción y se convierte en agua libre; entonces el agua libre absorbe el calor de la evaporación y finalmente se convierte en vapor que escapa del material. En el proceso de secado secundario, el calor necesario es la suma del calor de desorción y el calor de evaporación, y simplemente se denomina "calor de desorción" (Hua et al. 2010).

Al final del proceso de secado por desorción, se requiere que la humedad que queda dentro del material alcance la humedad final restante (HFR). Demasiado o muy bajo HFR del material liofilizado es perjudicial. Demasiado alto HFR no es propicio para el almacenamiento a largo plazo, demasiado bajo HFR dañará el material activo. En general, la humedad final restante (RMF) debe ser inferior al 5% (Hua et al. 2010).

1.4 Diseño experimental: Método de Superficie de Respuesta

El diseño de experimentos permite evaluar respuestas que dependen de múltiples factores. Este propone optimizar un proceso con un mínimo de experimentos y considerando una respuesta con dependencia multifactorial. El diseño experimental describe la serie de experimentos que serán llevados a cabo con la intención de desarrollar un modelo predictivo y se aplica para determinar la serie de condiciones que son requeridas para obtener un resultado con características deseables u óptimas.

La Metodología de Superficies de Respuesta (MRS) es un conjunto de técnicas matemáticas utilizadas en el tratamiento de problemas en los que una respuesta de interés está influida por varios factores de carácter cuantitativo. El propósito inicial de estas técnicas es diseñar un experimento que proporcione valores razonables de la variable respuesta y, a continuación, determinar el modelo matemático que mejor se ajusta a los datos obtenidos. El objetivo final es

establecer los valores de los factores que optimizan el valor de la variable respuesta.

1.4.1 Términos utilizados en MSR

Factores: Son las condiciones del proceso que influyen la variable de respuesta. Estos pueden ser cuantitativos o cualitativos.

Respuesta: Es una cantidad medible cuyo valor se ve afectado al cambiar los niveles de los factores. El interés principal es optimizar dicho valor.

Función de respuesta: Al decir que un valor de respuesta Y depende de los niveles x_1, x_2, \dots, x_k de k factores, $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k$, estamos diciendo que existe una función matemática de x_1, x_2, \dots, x_k cuyo valor para una combinación dada de los niveles de los factores corresponde a Y , esto es $Y=f(x_1, x_2, \dots, x_k)$.

Función de respuesta predicha: La función de respuesta se puede representar con una ecuación polinomial. El éxito en una investigación de una superficie de respuesta depende de que la respuesta se pueda ajustar a un polinomio de primer o segundo grado. Suponiendo que la función de respuesta para los niveles de dos factores se puede expresar utilizando un polinomio de primer grado:

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 \quad (1)$$

donde β_0 , β_1 y β_2 son los coeficientes de regresión a estimar, x_1 y x_2 representan los niveles de x_1 y x_2 respectivamente. Suponiendo que se dispone de $N \geq 3$ valores de respuesta (Y), con los estimadores b_0 , b_1 y b_2 se obtienen β_0 , β_1 y β_2 respectivamente. Al remplazar los coeficientes de regresión por sus estimadores obtenemos:

$$\bar{Y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 \quad (2)$$

Donde \bar{Y} denota el valor estimado de Y dado por x_1 y x_2 .

Superficie de respuesta: La relación $Y=f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ entre Y y los niveles de los k factores x_1, x_2, \dots, x_k representa una superficie. Con k factores la superficie está en $k+1$ dimensiones. Por ejemplo, cuando se tiene $Y=f(x_1)$ la superficie está en dos dimensiones, mientras que si tenemos $Y=f(x_1, x_2)$ la superficie está en tres dimensiones, tal como se muestra en la figura 7.

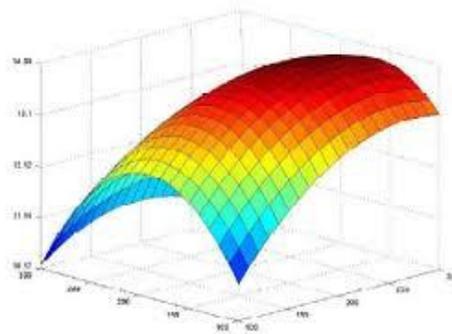


Figura 7: Superficie de respuesta tridimensional

1.4.2 Diseños experimentales para ajustar superficies de respuesta

El ajuste y análisis de una superficie de respuesta se facilita con la elección apropiada de un diseño experimental. Un diseño es el conjunto específico de combinaciones de los niveles de las k variables que se utilizará al llevar a cabo el experimento. La elección de un diseño adecuado del experimento a realizar es fundamental para modelar y explorar la superficie de respuesta usada para ajustar un modelo polinómico al conjunto de datos recogidos en los puntos del diseño. Así pues, sería deseable que el diseño tuviera, de las características que se enumeran a continuación, y dado que algunas de ellas resultan conflictivas entre sí, las que más sirvan al interés del experimento:

- Generar una distribución razonable de puntos y, por tanto, de información, en toda la región de interés, pero utilizando el menor número posible de puntos experimentales.
- Asegurar que para cada punto x , el valor ajustado, $\hat{Y}(x)$, está tan cerca como sea posible del valor real, $Y(x)$.
- Permitir la detección de falta de ajuste en el modelo.
- Permitir la ejecución de los experimentos en bloques.
- Permitir la construcción secuencial de diseños de orden creciente.
- Proporcionar una estimación interna de la varianza del error.
- Asegurar simplicidad en los cálculos de las estimaciones de los parámetros del modelo.

Además de las propiedades mencionadas, sería muy conveniente que el diseño elegido fuera ortogonal y/o invariante por rotación. Un diseño ortogonal es aquel en el que los términos del modelo ajustado son sin correlación y, por tanto, también las estimaciones de los parámetros lo son, en cuyo caso, la varianza de la respuesta esperada en cualquier punto de la región experimental se puede expresar como la suma ponderada de las varianzas de los parámetros estimados del modelo. Por otro lado, en un diseño invariante por rotación, la varianza de $\hat{Y}(x)$, que depende de la situación del punto x , es función únicamente de la distancia del punto al centro del diseño, lo que significa que es la misma en todos los puntos equidistantes del centro del diseño. Teniendo en cuenta que el objetivo del MSR es la optimización de la respuesta y que se desconoce la localización del óptimo antes de ejecutar el experimento, esta propiedad resulta muy interesante, puesto que garantiza que el diseño proporciona estimaciones igualmente precisas en todas las direcciones.

1.5 Fundamentos y descripción del producto Fruit leather

En la actualidad, la ingesta de alimentos listos para consumo ha aumentado considerablemente. Ya que la mayoría de estos productos no ofrecen una alta calidad nutricional por estar formulados en base a materias primas ricas en hidratos de carbono y grasas, es un desafío constante para la industria alimentaria desarrollar alternativas que puedan suplir estos alimentos listos para

consumo y que contengan un alto valor nutricional y a su vez, ser atractivos sensorialmente para el consumidor. Por otra parte, también está la necesidad de los productores agroindustriales de poder utilizar al máximo las materias primas a fin de abaratar costos y diversificar su gama de productos. Por estas razones nace la oportunidad de desarrollar alternativas con alto valor nutricional a partir de materias primas que por lo general son desechadas, como por ejemplo cáscaras o carozos de frutas, las cuales pueden ser mínimamente procesadas y entregar un producto atractivo, tanto en composición como en formato y así otorgar cualidades sensoriales que cumplan con las exigencias del consumidor.

El cuero de fruta o fruit leather, también llamado barra o lámina de fruta (figura 8), es un producto alimenticio de confitería deshidratado a base fruta que se consume a menudo como snack (Raab. C et al., 1976).



Figura 8: Fruit leather o lámina de fruta

El consumo de fruit leather es un sustituto económico y conveniente que le otorga valor agregado a las frutas naturales, como fuente de diversos elementos nutricionales. Es masticable y sabroso, naturalmente bajo en grasa y alto en fibra y carbohidratos. Además, tiene mucho menos calorías (≤ 100 kcal por porción), que muchas otras alternativas similares (Huang. X et al, 2005). El fruit leather consta de frutas sometidas a procesamiento, reestructuradas a partir de pulpa de fruta fresca o una mezcla de concentrados de jugo de frutas y otros ingredientes después de una operación que implica una etapa de deshidratación (Maskan. A et al. 2002).

1.5.1 Ingredientes utilizados en el fruit leather

Dentro de los ingredientes utilizados para la formulación de este producto, se encuentra principalmente la pulpa o puré de frutas, además de azúcares, ácido ascórbico, pectina, entre otros.

En una amplia gama de frutas que se pueden utilizar, se busca una que tenga dentro de su composición un alto contenido de azúcares, antioxidantes y pectina, con el fin de reducir al máximo el uso de aditivos. Una alternativa que cumple con estos requerimientos es la manzana.

La manzana: La manzana (*Malus domestica borkh*) es uno de los frutos más consumidos en el mundo. Existe una gran variedad de este fruto, pero las principales se pueden clasificar en cinco grupos en función de su aspecto visual:

amarillas, rojas, verdes, bicolores y reinetas. En las manzanas el azúcar simple más importante es la fructosa, mientras que la sacarosa, que aparece como elemento importante del gusto, sube en el período de maduración, aunque su cantidad absoluta no es importante. Durante esta misma etapa el almidón desaparece casi por completo, mediante la hidrólisis en moléculas más sencillas. Por otra parte, las manzanas contienen una cantidad importante de ácidos orgánicos en forma de ácidos libres o ácidos combinados con cationes formando sales. El ácido más importante es el málico, aunque también se encuentran otros como el succínico, láctico, cítrico, etc. y se expresa como g ac.mal./L. Recientes investigaciones han indicado que las manzanas contienen niveles elevados de compuestos biológicamente activos que actúan como antioxidantes. Algunos de estos compuestos más estudiados en las manzanas incluyen quercetina-3-galactosida, quercetina-3-glucósido, quercetina-3-rhamnosida, catequina, epicatequina, procianidina, cianidina-3-galactósido, ácido cumárico, ácido clorogénico, ácido gálico, y phloridzina.

En los aditivos para mejorar sabor, color y textura se utiliza en su mayoría azúcares, adición de ácido ascórbico y pectina.

Azúcar: Los azúcares como la glucosa, fructosa, maltosa, sacarosa y lactosa poseen en común y en diferentes grados las siguientes características: se usan habitualmente por su dulzor; son solubles en agua y originan fácilmente jarabes; proporcionan energía; en alta concentración previenen el desarrollo de

microorganismos y por ello pueden utilizarse como conservantes; se oscurecen y caramelizan al calentarlos (Guerra, 2005).

Ácido ascórbico: Es un antioxidante natural o sintético. Se obtiene de forma natural por extracción de frutas y vegetales o de forma sintética por fermentación bacteriana de glucosa seguido por una oxidación química. Se emplea en diversos alimentos como aditivos para evitar la oxidación y la pérdida de color debido al pardeamiento, especialmente en zumos, jugos, conservas y embutidos. En el caso del fruit leather, se agrega directamente como aditivo sintético, o puede ser agregado de manera natural mediante zumos o pulpas de frutas ricas en vitamina C (Guerra, 2005).

Pectina: Las fuentes de obtención de las pectinas se restringen principalmente a las cáscaras de los frutos cítricos (20-35%), infrutescencia del girasol (15-25%), remolacha (10-20%) y pulpa de manzana (10-15%). La pectina es un polisacárido constituido por 150 a 500 unidades de ácido galacturónico. En la piel del fruto, la pectina actúa como agente de hidratación y estabiliza la masa del producto. Este aditivo es ampliamente utilizado como ingrediente funcional en la industria de los alimentos y como fuente de fibra dietética, debido a su habilidad para formar geles acuosos. Los geles de pectina son importantes para crear o modificar la textura de compotas, jaleas, salsas, ketchup, mayonesas, confites. En fruit leathers, se ha observado que en cuanto mayor es el contenido de

pectina, mayor será la dureza, cohesividad y elasticidad de la lámina (Phimpharian et al, 2011) .

Preservantes: El uso de preservantes no siempre es necesario ya que al estar sometido a un proceso cuyo objetivo es la reducción de humedad, su vida útil se prolonga mucho más.

1.5.2 Procesos involucrados para la obtención de la lámina

Para la elaboración del producto se debe realizar una molienda de la fruta hasta la obtención de un puré, en donde previamente la fruta debe ser lavada y en consideración del tipo de fruta, a esta se le puede pelar y eliminar las semillas. Posterior a esto, el fruto debe ser cocido con el fin de aumentar la concentración de los sólidos solubles previo al secado. Los métodos comunes de secado utilizados para el secado del fruit leather son el secado en horno (convección/ventilación forzada). Durante el secado, las reacciones químicas o bioquímicas deseables o indeseables pueden dar lugar a cambios en el color, la textura, el olor y las propiedades nutricionales del producto final. El uso de temperaturas mayores a 60°C causa un rápido aumento en el pardeamiento enzimático. En el diagrama presente en la figura 9, se presenta de manera secuencial las etapas para la elaboración del producto.

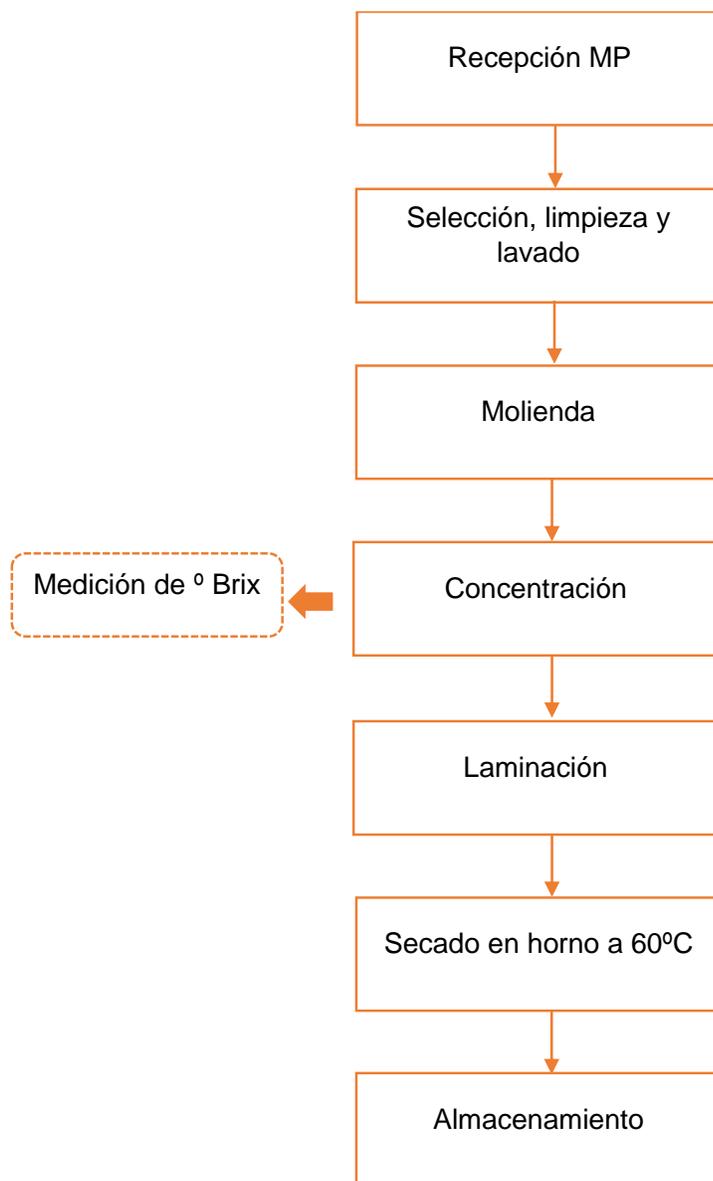


Figura 9: Diagrama de bloques elaboración de Fruit leather

2. HIPOTESIS

La potencia de las microondas tiene un efecto significativo sobre el tiempo de secado de *Physalis peruviana Linnaeus* por aire caliente asistido con microondas.

El secado de *Physalis peruviana Linnaeus* por liofilización tiene una mayor mantención de las propiedades nutricionales que el secado por aire caliente asistido con microondas, además de un menor impacto en las propiedades físicas del polvo obtenido debido al mantenimiento de la estructura.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Estudiar el proceso de secado del fruto *Physalis peruviana* Linnaeus por aire caliente asistido con microondas.

3.2 Objetivos específicos

- Optimizar el proceso de secado por aire caliente asistido con microondas a través del Método de Superficie de Respuesta con el Diseño Doehlert, con el fin de maximizar el contenido de carotenoides totales y contenido de polifenoles totales; por otra parte, se desea minimizar el tiempo de tratamiento.
- Estudiar la curva de cinética de secado del fruto *Physalis peruviana* Linnaeus durante el proceso de secado por aire caliente asistido con microondas con los factores experimentales ya optimizados y ajustar la curva a tres modelos matemáticos de secado.
- Determinar el perfil de sustancias bioactivas de los productos obtenidos de la optimización y del secado por liofilización. Comparar a través de la medición del contenido de carotenoides totales, polifenoles totales, capacidad antioxidante y ácido ascórbico.
- Caracterizar y comparar los productos obtenidos de la optimización y del secado por liofilización a través del contenido de humedad, color superficial, capacidad de retención de agua y análisis de estructura con microscopía electrónica.

- Incorporar los productos obtenidos de la optimización y del secado por liofilización como ingrediente a una formulación y comparar a través de humedad, curvas de secado, análisis de sustancias bioactivas, de color y propiedades texturales.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materia prima

La fruta *physalis peruviana* fue seleccionada según su grado de madurez, en donde se consideró como óptimo un fruto anaranjado con visos verdes en la zona cercana al cáliz. Se eliminó el cáliz de manera manual de modo que quedó solo la fruta, la cual se trituró en una procesadora (Moulinex, Francia) hasta la obtención de una pulpa homogénea, esta se congeló (Electrolux, Suecia) a -18°C, y fue almacenada hasta su uso en bolsas plásticas herméticas.

4.2 Diseño experimental del secado por aire caliente asistido con microondas

La optimización de las condiciones del proceso de secado de *Physalis peruviana* se realizó a través del Método de Superficie de Respuesta con el Diseño Doehlert, con una batería de 10 experimentos, cada uno con triplicado

4.2.1 Factores experimentales

Los factores experimentales que modelaron el proceso de secado por microondas asistido con aire caliente del fruto *Physalis peruviana* Linneus fueron los siguientes: Temperatura del aire en °C (TA) (5 niveles) y Potencia del microondas (PM) (3 niveles). Estos fueron codificados a fin de eliminar cualquier error que se pudiera generar a partir de las diferencias de magnitud entre los factores. Esta codificación y número de niveles se realizó a través de lo

especificado por el diseño experimental elegido (Diseño Dohelert). La temperatura del aire se escaló desde los 40 a los 60°C y la potencia del microondas desde 100 a 300 watts. La tabla 1 contiene las temperaturas y potencias utilizadas.

Tabla 1: Valores codificados y naturales para los factores experimentales.

Factor	Niveles				
TA	-1	-0,5	0	0,5	1
	40	45	50	55	60
PM	-0,866		0		0,866
	100		200		300

Se procedió a realizar el secado por microondas asistido con aire caliente en placas Petri, con un grosor de la capa de 0,3 cm, equivalentes a 20 g de pulpa de fruta, bajo las condiciones indicadas para cada experimento según la combinación de factores presentes en la tabla 2, durante el tiempo de exposición que fuera necesario para llegar a una humedad del 10%.

4.2.2 Objetivo de la optimización

Debido a las grandes propiedades funcionales del fruto physalis peruviana, se estableció como objetivo obtener la mayor cantidad de sustancias bioactivas, teniendo en cuenta que estas sustancias son termolábiles, por lo tanto, se

maximizó el contenido de carotenoides totales (CCT) y el contenido de polifenoles totales (CPT). Por otra parte, se exploró la posibilidad de minimizar el tiempo de tratamiento en minutos (TT), para disminuir la exposición de la pulpa de fruta al tratamiento.

4.2.3 Construcción del modelo para la optimización

Las combinaciones experimentales para la optimización se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2: Combinaciones experimentales para la optimización.

nº exp	TA	PM
1	1	0
2	0,5	0,866
3	-1	0
4	-0,5	-0,866
5	0,5	-0,866
6	-0,5	0,866
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0

4.2.4 Optimización de respuestas múltiples mediante deseabilidad

Cuando se desea optimizar varias respuestas simultáneamente y las regiones de los factores optimizados en la superficie de respuesta no coinciden, se busca encontrar una situación de compromiso o deseabilidad. Para esto, se establecen límites aceptables de respuesta, en donde el valor mínimo es una respuesta inaceptable y el valor máximo es la respuesta ideal. Para establecer estos valores se utilizaron como respuestas ideales ciertos porcentajes del contenido de carotenoides totales y polifenoles totales obtenidos en el análisis para la fruta liofilizada. En el caso de los tiempos de operación del proceso, se establecieron los límites en función de los tiempos más bajos y más altos que arrojaron los experimentos del modelo.

Se utilizó un coeficiente de impacto de 3 para el tiempo y de 2 para las sustancias bioactivas, ya que mientras menos tiempo esté expuesta esta matriz a la operación, mayor sería la mantención del contenido de estos compuestos.

4.3 Secado por liofilización

Se dispuso la pulpa de fruta en placas Petri con un grosor de capa de 0,3 cm equivalentes a 20 g de pulpa, posteriormente se dejaron las placas en las bandejas de metal del liofilizador y se congeló rápidamente a -60°C dentro del liofilizador, marca Sumtron, modelo CTFD-18P. El secado por liofilización se

realizó en triplicado, con un tiempo de permanencia en el equipo por 48 horas, con una humedad inferior al 5%, bajo una temperatura de -70°C y 0,5 mtorr. Una vez secadas las muestras, se almacenaron al vacío y bajo oscuridad hasta su análisis y formulación.

4.4 Adición de *physalis peruviana* como ingrediente a una elaboración

Se elaboraron láminas de frutas o fruit leather de pulpa de manzana fuji fresca sin physalis (SPH), pulpa de manzana fresca y pulpa de physalis liofilizada (PHL) y pulpa de manzana fresca con pulpa de physalis deshidratada por aire caliente asistido con microondas (PHM), en donde las dos últimas fueron elaboradas en una proporción de 70% manzana / 30% physalis. Se agregó la pulpa deshidratada luego de efectuar la concentración de la pulpa de manzana, por lo que en los grupos PHL Y PHM se llegó a una concentración de 23°Brix para que, al momento de adicionar la fruta tratada, se lograra una concentración de 25°Brix, igual a la concentración de la lámina SPH. Para lograr el ajuste de los ° Brix, fue necesario realizar la concentración de la pulpa a través de la evaporación de agua en cocina convencional durante 45 minutos aproximadamente con el fin de lograr los grados deseados según el caso. Posteriormente, para los tres formatos, la pulpa concentrada fue dispuesta en finas capas con un espesor de 3 mm para ser sometida a secado convencional a 60°C por 4 horas.

4.5 Estudio del secado

Se realizó un estudio de la cinética de secado sobre el proceso ya optimizado, construyendo una curva de secado (MR vs tiempo) y se comparó con la curva de secado sobre el método de secado convencional con aire convectivo a 60°C. Los intervalos de tiempo para cada experimento de secado fueron de 1 y 5 minutos respectivamente, partiendo en ambos casos con una masa inicial de 20g de pulpa.

Para el modelamiento matemático de la curva de secado del proceso ya optimizado, se utilizaron tres modelos matemáticos, los cuales son los más comunes para materias primas orgánicas y biológicas y que se describen a continuación:

Modelo de Page: Es una modificación empírica de un modelo llamado Lewis, corrigiendo ciertas deficiencias captadas por Page, se ha utilizado para describir secado de productos agrícolas como maíz (Page, 1949), pistachos (Kashaninejad et al., 2007) y soja verde (Yang & Zhu, 2015). Se describe por la ecuación 3.

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = e^{-kt^y} \quad (3)$$

Donde k e y son constantes y t es el tiempo

Modelo Henderson-Pabis: Modelo que utiliza el primer término de una solución general de la segunda ley de Fick, ha producido buenas correlaciones prediciendo el secado de maíz (Henderson y Pabis, 1961). Se describe por la ecuación 4.

$$MR = \frac{M-M_e}{M_0-M_e} = ae^{-kt} \quad (4)$$

Donde k y a son constantes y t es el tiempo.

Modelo Midili-Kucuk: Modelo desarrollado a través de datos empíricos para los procesos de secado de “una capa” (Midilli, Kucuk, & Yapar, 2002), ha sido utilizado recientemente para describir los procesos de secados de variados productos, como yogur colado (Hayaloglu et al., 2007), yacón (Shi et al., 2013) y Orujo de oliva crudo (Koukouch et al., 2015). Se describe por la ecuación 5.

$$MR = \frac{M-M_e}{M_0-M_e} = ae^{-(kt^y)} + bt \quad (5)$$

Donde k , y y a , b son constantes y t es el tiempo.

4.6 Caracterización de la fruta fresca y los productos de secado

4.6.1 Análisis de sustancias bioactivas

El análisis de las sustancias bioactivas de la pulpa fresca del producto obtenido de los procesos de secado y la pulpa fresca incluyó:

Contenido de carotenoides totales: La determinación del contenido de carotenoides totales fue realizada mediante el método de Kumar, Ramakritinan, and Kumaraguru (2010). En este método, se pesaron 3 g de muestra, extrayendo con hexano: acetona: etanol (2:1:1, v/v) 75 ml por 1 hora, en oscuridad y a temperatura ambiente, luego se filtró en papel filtro y el filtrado se transfirió a un embudo de decantación y completando con 25 ml de agua destilada y agitando vigorosamente, se dejó reposar por 30 min para la separación de las fases. Se desechó la parte acuosa, y se recibió en probeta la parte orgánica del extracto, registrando su volumen, luego se procedió a medir absorbancia a 470 nm. Para determinar el contenido de carotenoides se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Contenido de carotenoides } (\mu\text{g}/100 \text{ g ms.}) = \frac{A \times V \times 10^4}{A_{1\text{cm}}^{1\%} \times P} \quad (6)$$

Donde A es la absorbancia; V es el volumen total del extracto (mL); P es el peso de la muestra (g); y $A_{1\text{cm}}^{1\%}$ es el coeficiente de extinción molar en cloroformo (2396) (Rodríguez-Amaya, 2001).

Extracción para contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante: El método utilizado para la extracción se realizó según lo descrito por Vasco, Ruales, and Kamal-Eldin (2008). Se pesaron 0,5 g de muestra seca y se extrajeron dos veces a temperatura ambiente durante 1 hora con agitación continua. Primero con 20 ml de una mezcla de metanol: agua (50:50 v/v) y luego con 20 ml de acetona: agua (70:30 v/v). Posteriormente se realizó una

centrifugación (4000 rpm, 15 minutos). El sobrenadante se recolectó en un matraz volumétrico y se aforó a 50 ml con agua destilada.

Contenido de polifenoles totales: Se midió por el método espectrofotométrico desarrollado por Folin y Ciocalteau. Se transfirió una alícuota de 0,75 ml del extracto a un matraz de 25 ml y se le adicionó 0,75 ml del reactivo F.C y después de 3 minutos de agitación continua, se agregaron 10 ml una solución de Na_2CO_3 (75g/L) y se mezcló vigorosamente. Se completó el volumen hasta 10 ml y se dejó reposar por 1 hora a temperatura ambiente. Se leyó la absorbancia a 765 nm con el espectrofotómetro. Los resultados se expresaron como equivalentes de ácido gálico (GAE).

Capacidad antioxidante: Se evaluó la eficiencia antirradical utilizando el método DPPH. Se tomó una alícuota de 1,1 ml del extracto y se añadió 2,9 ml de la solución DPPH en metanol (2 mg en 100 ml de solución acuosa de metanol 50% v/v). Se realizó la lectura de la absorbancia a 515 nm en un espectrofotómetro. Los resultados fueron expresados como μmoles de Trolox por 100 g de muestra seca ($\mu\text{mol TE}/100 \text{ g ms}$).

Contenido de ácido ascórbico: La determinación de vitamina C se realizó mediante el método del NBS (N-bromosuccinimida) de acuerdo con Barakat y col., (1995). El agente oxidante (NBS) fue estandarizado tomando una alícuota de 10 ml de una solución estándar de ácido ascórbico (0,2 mg/ml), que se colocó en un matraz Erlenmeyer que contenía 2 ml de una solución de KI (4 %), 0,8 ml

de una solución de ácido acético (10 %), las gotas de una solución de almidón (1 %) como indicador y 12 ml de agua destilada, luego se valoró con una solución de NBS (0,2 g/L). El punto final se alcanzó cuando se observó un color azul permanente. Para la determinación de ácido ascórbico en las muestras, éstas se homogeneizaron y filtraron, luego se añadieron 0,2 g de ácido oxálico, La solución de las muestras se colocó en un matraz Erlenmeyer que contenía 5 ml de solución de KI, 2 ml de solución de ácido acético, las gotas de solución de almidón y 30 ml de agua destilada, luego se valoró con la solución de NBS. El contenido de vitamina C, expresado como mg de vitamina C/100 g muestra. se calculó por la siguiente ecuación:

$$Vit C = \left(\frac{2AA*B}{T*M} \right) * 100 \quad (7)$$

Donde T representa el volumen gastado de NBS de la solución patrón de 2 mg de vitamina C (AA) (ml), B es el volumen de NBS correspondientes a la muestra (ml) y M es la masa de la muestra (g).

4.6.2 Análisis físico

El análisis de las propiedades físicas de la pulpa fresca y los productos obtenidos de los procesos de secado incluyó un análisis de humedad, color superficial y microscopia electrónica de barrido. Para los productos de las técnicas de secado se incluyó un análisis de la capacidad de retención de agua.

Humedad: Una muestra de 5 g de esta pulpa se pesó en balanza analítica y fue llevada a una estufa a vacío a una temperatura de $70 \pm 1^\circ\text{C}$ y una presión de ≤ 13.3 kPa, hasta que la muestra presentó un peso constante para poder obtener la humedad de la fruta, el contenido de humedad se determinó de acuerdo con la metodología AOAC No. 934.06 (AOAC 2000).

$$\%H = \frac{(P+MH)-(P+MS)}{(P+MH)-P} * 100\% \quad (8)$$

Donde H es la humedad, P es la masa de la placa, MH es la masa de la materia húmeda y MS es la masa de la materia seca.

Color superficial: El análisis de color de las muestras se realizó utilizando un colorímetro marca 3nh modelo NR110, con la medición de los parámetros L^* , a^* , b^* (Mey et al., 2002). Se estimaron los cambios de color de la superficie mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L^*_{*2} - L^*_{*1})^2 + (a^*_{*2} - a^*_{*1})^2 + (b^*_{*2} - b^*_{*1})^2} \quad (9)$$

Además, se midió el parámetro croma (C^*), que es la saturación o intensidad de un color particular. Indica viveza o palidez. Su medición se realizó con la siguiente ecuación:

$$C^* = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (10)$$

Microscopía de barrido: Se fijaron las muestras de la pulpa fresca, liofilizada y secada por microondas asistido con aire caliente con glutaraldehído al 2,5% en

búffer cacodilato de sodio 0.1 M por 2 horas y luego se lavó la muestra 3 veces x 5 min en agua bidestilada, posteriormente se lavó con búffer cacodilato de sodio 0.1 M x 5 min, luego la muestra se deshidrató en alcoholes ascendentes 50°,70°,95°,100°I y 100° II por 5 minutos cada uno y se realizó un nuevo secado hasta el punto crítico colocando las muestras en el secador de punto crítico autosamdri-815, series a overview por 30 minutos , donde la muestra es secada para remover todas las moléculas de agua a través de CO₂ por último, las muestras fueron montadas en porta muestras de aluminio y metalizadas con oro en metalizador denton vacumm desk, luego se visualizó en el microscopio electrónico de barrido marca JEOL, modelo KSM-IT300LV.

Capacidad de retención de agua (CRA): En tubos de 50 ml se agregaron 250 mg de polvo y 25 ml de agua destilada, Se agitó y dejó hidratar durante 1 hora. Posteriormente, se centrifugaron las muestras a 12.000 rpm durante 20 minutos a 20° C. Se drenó la muestra y se pesó el sedimento. La CRA se calculó según la ecuación 11.

$$CRA = \frac{\text{Peso sedimento} - \text{peso muestra seca}}{\text{peso muestra seca}} \quad (11)$$

4.7 Análisis de la formulación

Para analizar el aporte de la pulpa de *physalis* deshidratada al producto fruit leather, se realizaron análisis sobre láminas sin adición de *physalis* (SPH),

láminas con adición de physalis liofilizada (PHL) y láminas con adición de physalis secada con microondas (PHM). En ambos casos de adición se utilizó una razón de 70% de pulpa de manzana y 30% de pulpa de physalis deshidratada. Se consideró esta propuesta para los análisis de perfil de sustancias bioactivas, humedad, color y textura.

4.7.1 Curvas de secado

Se realizó el estudio de las curvas de secado de las tres láminas de pulpa de fruta concentrada con el fin de evaluar si el aporte de pulpa de physalis deshidratada influye en el comportamiento de secado del fruit leather. Se realizó esta operación a 60°C, registrando los pesos cada diez minutos durante una hora. Luego de esto se controló el peso cada 30 minutos hasta peso constante.

4.7.2 Análisis de sustancias bioactivas

Se aplicaron los mismos métodos descritos para evaluar el contenido de polifenoles totales, capacidad antioxidante, contenido de carotenoides totales y contenido de ácido ascórbico. Sin embargo, se realizó una modificación en la metodología de extracción para la cuantificación de polifenoles totales y capacidad antioxidante, debido a una mayor afinidad entre los solventes y los polifenoles presentes en la pulpa de manzana. La extracción se consigue de

acuerdo con método descrito por Leyva-Corral J y col., 2016 con algunas modificaciones. Se pesaron 5 gramos de cada muestra de lámina y fueron suspendidas en acetona (80% v/v) en agitador orbital, 20 ml al comienzo de la extracción durante 1 h, después 10 ml durante 30 minutos y finalmente 10 ml durante 30 min. Posteriormente, se centrifugó durante 15 min a 4000 rpm a 4°C. Los sobrenadantes obtenidos fueron aforados a 50 ml con metanol (50% v/v).

4.7.3 Análisis de color

Se aplicó la misma metodología descrita anteriormente en el análisis de color (punto 4.6.2) para medir las diferencias en las tres láminas de fruta.

4.7.4 Análisis de textura

Las mediciones de fuerza (punción y resistencia a la tracción) se midieron en el texturómetro Lloyd instruments LR 5K. Para la determinación de la resistencia a la tracción, las láminas de dimensiones de 30 x 15 mm se sujetaron en ambos extremos, con una velocidad de ruptura de 0,5 mm/s y un umbral de distancia de 0,5 mm (Phimparian et al, 2011), la sonda tiró hacia arriba y se registró el valor de fuerza máxima para romper la muestra ya sea en los extremos o en la zona central. La medición de la fuerza de punción máxima se realizó sobre muestras con dimensiones de 30 x 30 mm y se apoyaron sobre un soporte de diámetro de 20 mm, con una distancia del soporte a la muestra de 5 mm, y una velocidad de

penetración de 1,3 mm/s y una sonda P/4. La sonda atravesó la muestra y se registró el valor de fuerza máxima para atravesar la muestra.

4.8 Análisis estadístico

Todos los ensayos realizados se hicieron en triplicado. Para comparar los resultados de los análisis químicos y físicos de la caracterización de la pulpa fresca, sometida a los dos procesos de secado y las láminas de frutas, se realizó un análisis en software (Statgraphic) el test ANOVA de una vía con un nivel de confianza del 95% ($p < 0,05$) y un test de rangos múltiples.

Para los modelos matemáticos de secado a evaluar, se realizó un análisis de regresión. Se obtuvieron el coeficiente de determinación (R^2) (ecuación 12), factor principal al momento de evaluar el ajuste de ecuaciones de simulación, los otros factores a evaluar fueron el valor chi-cuadrado (χ^2) (ecuación 13) y el valor de la raíz del error cuadrado medio (RMSE) (ecuación 14). Para escoger al modelo que mejor ajusta al proceso de secado, se debe escoger el que tenga mejor coeficiente de determinación y menores Chi-cuadrado y menor valor de la raíz cuadrada media (Qin-An, 2016). Para el cálculo de estos tres parámetros estadísticos se utilizarán las siguientes ecuaciones:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_1^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{\sum_1^N (\overline{MR}_{exp,i} - MR_{pre,i})^2} \quad (9)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-z} \quad (10)$$

$$RSME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N}} \quad (11)$$

Para todas las pruebas realizadas se utilizó un 95% de confianza.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Optimización del proceso de secado por aire caliente asistido con microondas.

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para los 7 experimentos propuestos según el diseño experimental, más los 3 puntos centrales adicionales, en donde se registraron los resultados para las tres respuestas a estudiar.

Tabla 3: Resultados de las variables respuestas según el modelo propuesto

nº exp	TA	PM	CCT	CPT	TT
1	1	0	16,90	36,56	14
2	0,5	0,866	15,36	31,91	6,5
3	-1	0	17,47	38,11	14,5
4	-0,5	-0,866	21,01	42,38	30
5	0,5	-0,866	21,57	39,75	28
6	-0,5	0,866	16,76	30,80	6
7	0	0	17,96	37,88	15
8	0	0	17,96	37,43	15
9	0	0	18,98	38,97	15
10	0	0	17,94	37,23	15

Se puede apreciar en la tabla que las combinaciones 4 y 5 con mayor contenido de carotenoides y polifenoles totales, sin embargo, también presentan

los tiempos de tratamientos más extensos, lo que se opone al objetivo de minimizar los tiempos de secado. Ambos experimentos tienen en común el uso de la potencia más baja propuesta en el modelo, correspondiente a 100 W. Por otro lado, los experimentos 2 y 6 contienen los tiempos más bajos, junto con el contenido más bajo en carotenoides y polifenoles totales, en donde el factor común de ambos experimentos es el uso de la potencia más alta propuesta en el diseño correspondiente a 300 W.

A simple vista se puede apreciar que es posible que la potencia del microondas tenga un efecto mucho más significativo sobre el tratamiento que la variación de la temperatura del aire.

5.1.1 Tiempo

La primera variable por estudiar fue el tiempo del tratamiento, en donde se realizó previamente una etapa exploratoria con el fin de encontrar los tiempos adecuados para cada tratamiento y que cumpliera con el requerimiento de una humedad igual o levemente inferior al 10%. En la tabla 5 se aprecian que los tiempos de los tratamientos propuestos fluctuaron entre los 6 a los 30 minutos. Analizando esta variable en el software Statgraphics, (Anexo 2) se observa un $R^2 = 99,9662$ y un R^2 (ajustado a g.l.) = 99,9306, lo cual indica que el modelo utilizado en este experimento se ajusta bastante bien a este experimento.

Al observar el diagrama de Pareto en la figura 10, se aprecia que todos los factores influyen de manera significativa sobre el tiempo del tratamiento, y que por sobre los demás se destaca la potencia del microondas con una influencia negativa, es decir, que mientras más alta es la potencia aplicada al tratamiento, tarda menos tiempo. Se destaca que la temperatura del aire es el factor menos significativo y que también tiene una influencia negativa. Esto queda representado de manera explícita al comparar los experimentos 2 y 6, en donde se utiliza una potencia de 300W en ambos y temperaturas de 55°C y 45°C respectivamente, generando una diferencia de tiempos de 0,5 minutos entre ambos tratamientos.

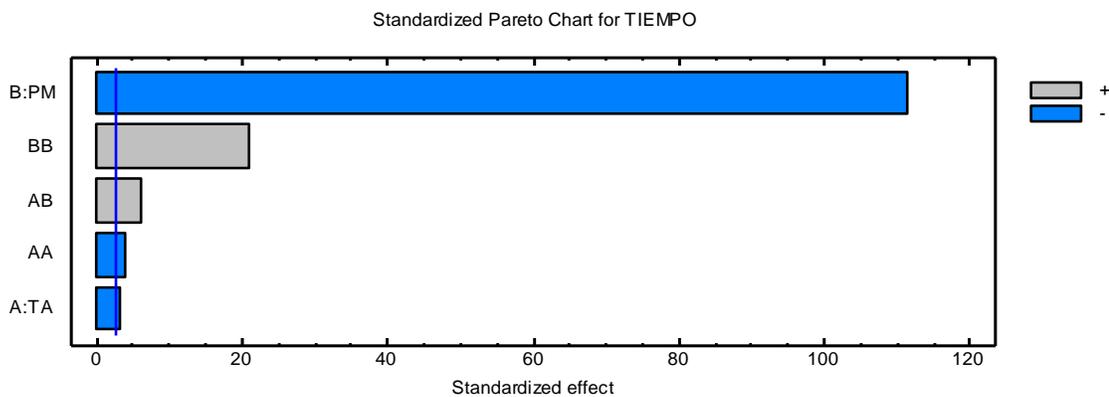


Figura 10: Diagrama de Pareto para la variable Tiempo

De manera independiente, al optimizar esta variable, se obtuvo un tiempo mínimo de tratamiento de 4,43 minutos, para lo cual se requiere una potencia de microondas de 300W y una temperatura de 40°C. En la figura 11 se aprecia la zona óptima para minimizar el tiempo de tratamiento, la cual se encuentra en la

zona más fría ubicada en el color azul, lo que implica la minimización total de la variable.

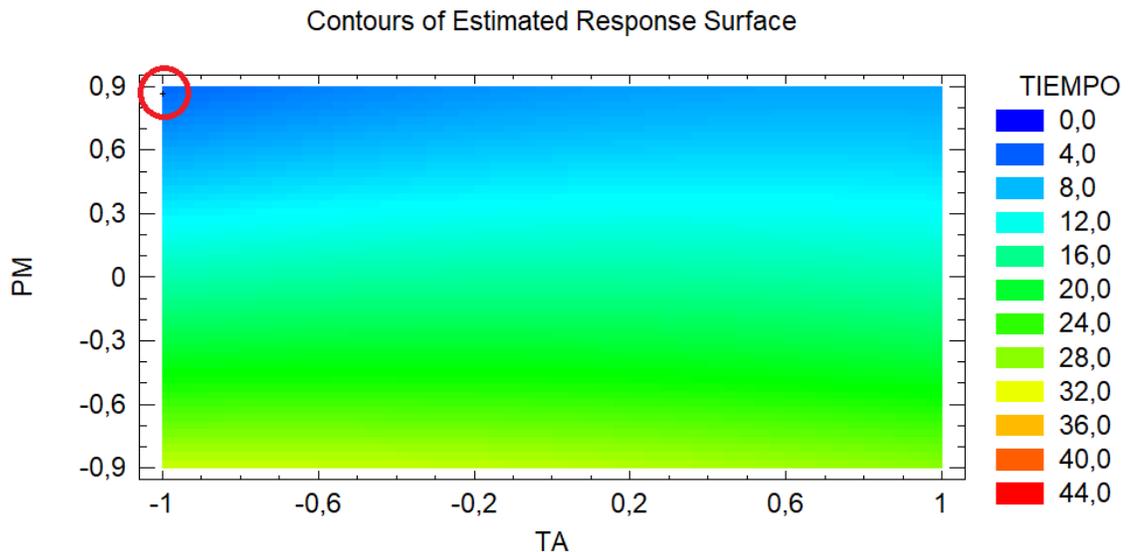


Figura 11: Optimización de la variable tiempo

5.1.2 Carotenoides totales

El estudio de carotenoides totales arrojó resultados entre los 15 a 21,5 $\mu\text{g/g}$ de materia seca, lo cual representa valores un tanto bajos, considerando que tratamientos con microondas a máxima potencia con tiempos cortos (6 minutos) aplicados a hojuelas de camote han reportado pérdidas cercanas a un 23%, mientras que en tratamientos en horno reportan pérdidas cercanas a un 31% (Rodríguez-Amaya, 1997). Cabe destacar que el camote tiene una cantidad inicial de carotenoides de 152 $\mu\text{g/g}$, siendo una cifra un tanto más elevada al contenido del physalis. Por otra parte, se ha visto que la pérdida de carotenoides totales en physalis en un secado convectivo es similar al 43% (Castro et al. 2008). El

bajo rendimiento de esta sustancia termolábil puede ser atribuido a distintos factores previos al tratamiento con microondas de baja intensidad, como origen de la fruta, forma de cultivo, estado de maduración y tratamiento de almacenamiento por trituración, ya que existe una pérdida importante de estas sustancias producto de la oxidación y esta se presenta de manera significativa cuando se pierde la integridad celular debido a la trituración del producto, oxidándose debido a una pérdida de compartimentación celular, poniendo en contacto sustancias que pueden modificar estructuralmente, e incluso destruir los pigmentos (Meléndez-Martínez et al, 2004).

En cuanto a los resultados del análisis de esta variable para el modelo propuesto (Anexo 2), se obtuvo un $R^2= 97,5388$ y un R^2 (ajustado a g.l.)= $94,4623$. Al examinar el diagrama de Pareto, se observa que el único factor que tiene un aporte significativo es la potencia del microondas, el cual tiene una influencia negativa, mientras que nuevamente el último factor en realizar un aporte a la ecuación es la temperatura del aire.

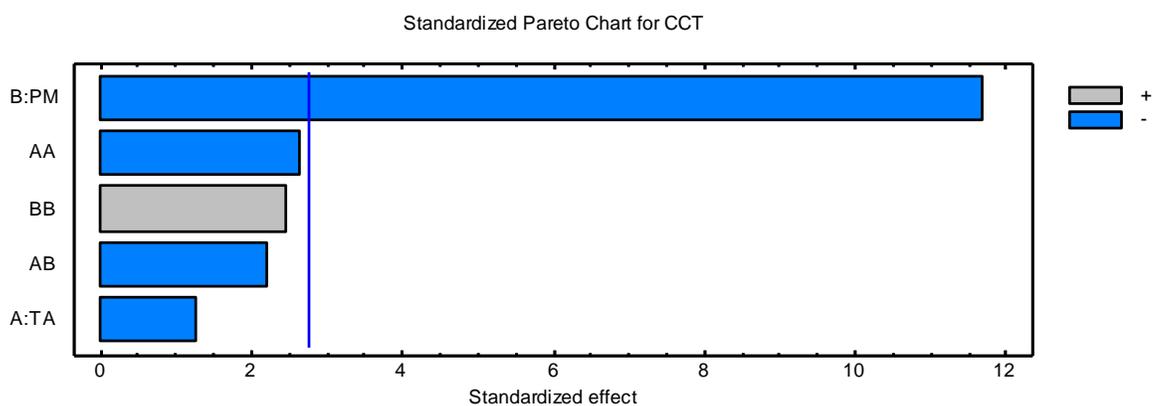


Figura 12: Diagrama de Pareto para la variable Contenido de carotenoides totales.

Optimizando esta variable de manera independiente, se obtuvo un valor maximizado de 21,6503 ug/g, cuyas combinaciones de factores para obtener dicha cantidad es una potencia de microondas de 100 W y una temperatura del aire de 53,19°C. A continuación, se presenta en la figura 13 la zona óptima para lograr maximizar el contenido de carotenoides totales, la cual está presente en una zona medianamente cálida representada por el color amarillo.

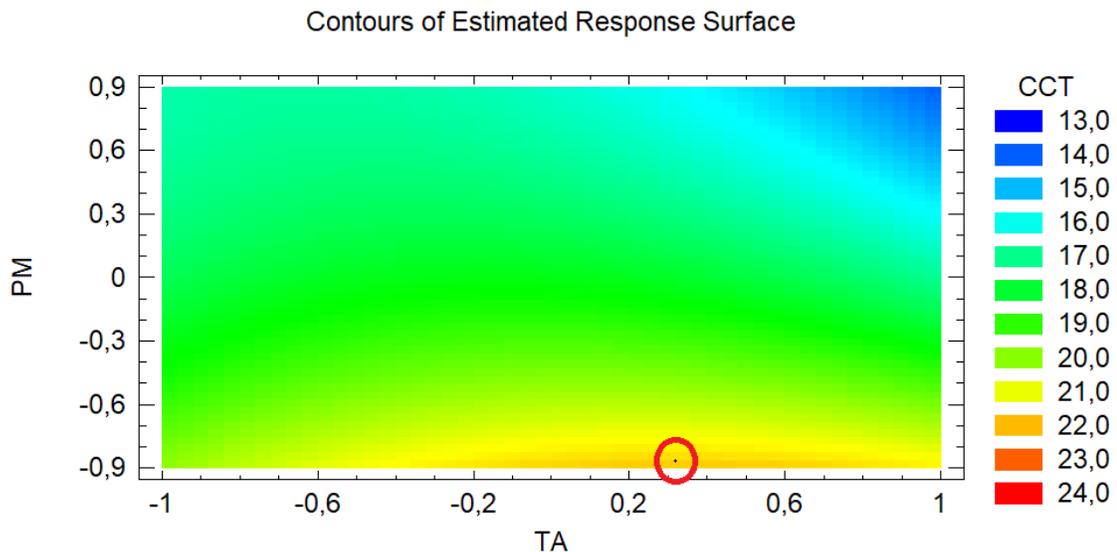


Figura 13: Optimización de la variable Contenido de carotenoides totales

5.1.3 Contenido polifenoles totales

La cuantificación de polifenoles totales obtenida para cada experimento fluctuó entre los 30,8 y 42,8 mg GAE/100 g de materia seca. Estas cantidades resultan aceptables dado que en el fruto fresco presenta un rango entre 57,9 hasta 90,80 mg GAE/100 g de fruto (Jurado et al. 2016). Por otra parte, al secar este fruto con aire caliente entre 50 a 60°C se han determinado valores entre los

4,5 a los 5,5 mg GAE/100 g de fruta respectivamente (Ponce y Rodríguez, 2014). Por lo que la técnica de secado por aire caliente asistido con microondas representa una gran oportunidad para lograr mantener en gran cantidad estos compuestos bioactivos.

Analizando esta variable respuesta en el programa (anexo 2), se obtuvo un $R^2 = 97,5388$ $98,3178$ y un R^2 (ajustado a g.l.) = $96,2152$, representando entonces un buen ajuste. El diagrama de Pareto representado en la figura 14 indica que nuevamente la potencia del microondas tiene una influencia significativa en el proceso de secado, y esta actúa de manera negativa, en donde mientras más alta sea la potencia, menor es el contenido de polifenoles totales. Por otro lado, la temperatura del aire caliente es uno de los factores menos influyentes.

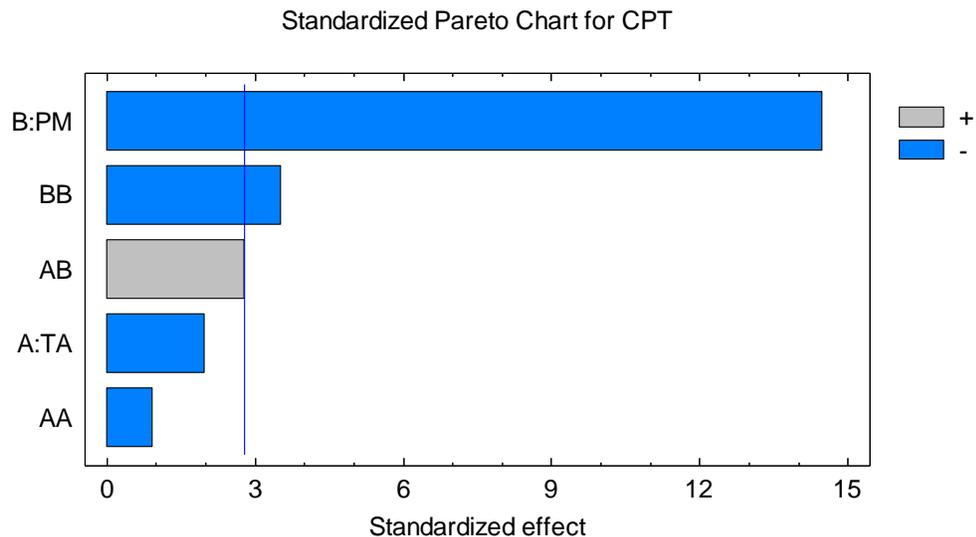


Figura 14: Diagrama de Pareto para la variable Contenido de polifenoles totales

Nuevamente esto se puede ver reflejado en los experimentos 2 y 6, en donde el experimento con una temperatura de 55°C presenta un contenido de 31,91 mg GAE/100g mientras que el experimento con una temperatura de 45°C presenta un contenido de 30,80 siendo esta una diferencia muy pequeña, dando en cuenta que la variación de 10°C no representa una disminución significativa del contenido de polifenoles totales.

La optimización de esta variable de manera independiente indica un contenido de 43,30 mg GAE/100 g lo cual corresponde a una potencia de 100W y una temperatura de 40°C. En la figura 15 se ilustra la zona de máxima cantidad de polifenoles totales, ubicada en la zona más cálida del diagrama representada por el color rojo.

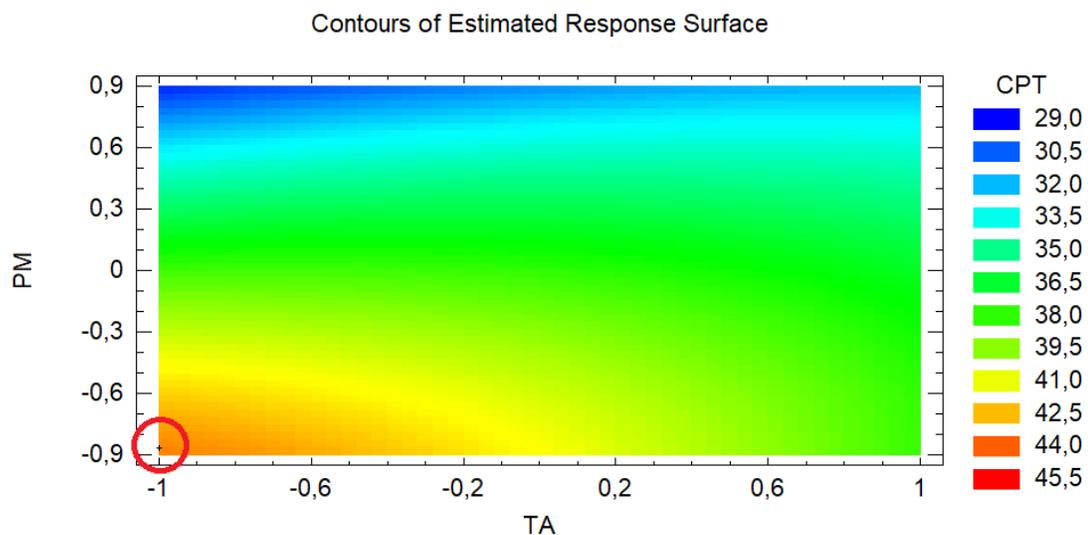


Figura 15: Optimización de la variable Contenido de polifenoles totales.

5.1.4 Optimización múltiple

Para lograr encontrar una combinación de factores que logre minimizar el tiempo de operación sin disminuir el contenido de sustancias bioactivas, se tuvo que encontrar una situación de compromiso, debido a que las zonas de optimización de las tres variables no coincidían (Figuras 11,13 y 15). Para esto se propuso utilizar las condiciones que se encuentran en la tabla 4 y lograr hallar una sola zona en donde se puedan cumplir las metas de optimización de las tres respuestas.

Tabla 4: Condiciones para optimización de múltiples respuestas.

Respuesta	Límite inferior	Límite superior	Meta de optimización
CCT	10 ug/g	35 ug/g	Maximizar
CPT	26,5 mg GAE/100g	53 mg GAE/100g	Maximizar
T	6 min.	30 min.	Minimizar

Los criterios para elegir los límites de las sustancias bioactivas fueron establecidos en base a los resultados obtenidos para estos mismos compuestos en la fruta liofilizada. En el caso de los carotenoides totales se estableció como límite mínimo un 10% del resultado de este parámetro en el fruto liofilizado y como límite máximo un 70%. Para el contenido de polifenoles totales se utilizó como límite máximo el 100% del resultado en el fruto liofilizado y como mínimo un 50%. Los porcentajes fijados en los límites difieren entre ambas variables

respuesta debido a que los carotenoides totales son más susceptibles a la degradación por oxidación y temperatura que los polifenoles, debido a esto se fijaron porcentajes más bajos para los límites de aceptación. Por otra parte, los límites de la variable tiempo fueron fijados de acuerdo con los tiempos extremos que fueron reportados en el modelo, siendo así el mínimo 6 minutos en el experimento 4 y 30 minutos en el experimento 6.

En la figura 16 se presenta la superficie de respuesta para el modelo, mientras que en la figura 17 se muestra el punto en donde se combinan los factores para lograr optimizar las tres variables de manera conjunta. En ambos se observa que los colores predominantes indican zonas que varían entre frías a medianamente cálidas, lo que indica que la zona óptima para las tres variables en conjunto involucra un tiempo más prolongado fuera de la zona fría de minimización y un contenido de sustancias bioactivas menor fuera de la zona cálida de maximización.

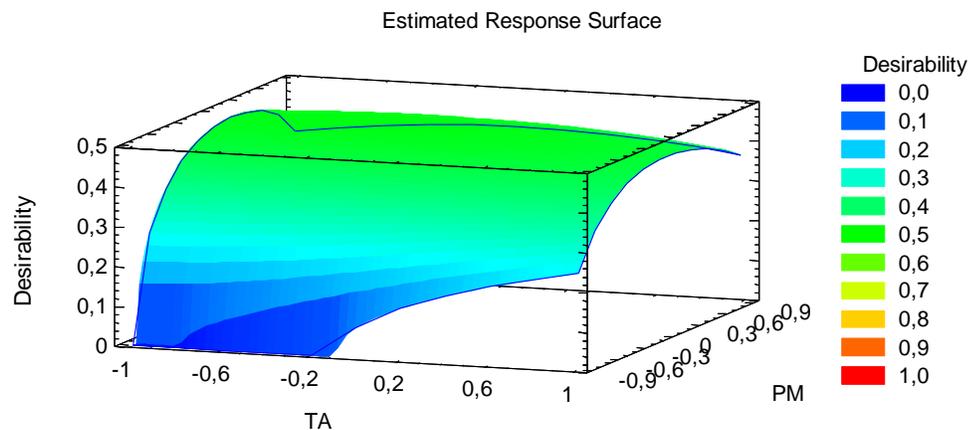


Figura 16: Gráfico de superficie de respuesta para la optimización múltiple.

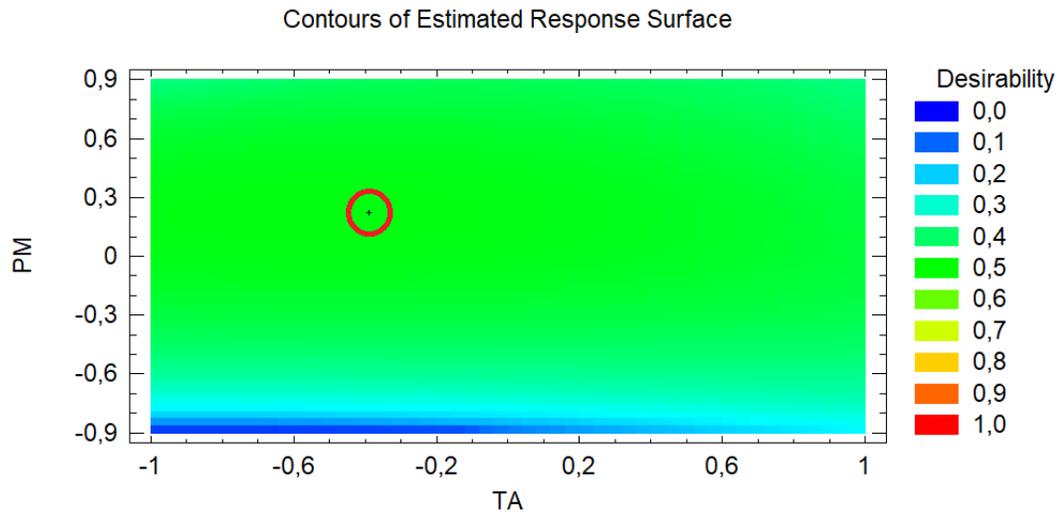


Figura 17: Optimización de múltiples respuestas para el modelo propuesto

La optimización indicó que es posible lograr un contenido de carotenoides totales de 17,66 $\mu\text{g/g}$ y un contenido de polifenoles totales de 36,55 mg GAE/100g en un tiempo de 12,17 minutos, con una combinación de factores de 46,10°C y 222W.

Al analizar la deseabilidad observada para ver el ajuste de la optimización de respuesta múltiple al modelo (Anexo 4), se obtuvo que esta se ajusta con un $R^2 = 94,8225$ y un R^2 (ajustado a g.l.) = 88,3595. En el gráfico de Pareto presente en la figura 18, se indica que la potencia de las microondas influye de manera positiva en la optimización múltiple, al igual que la temperatura del aire, sin embargo, esta última no presenta significancia.

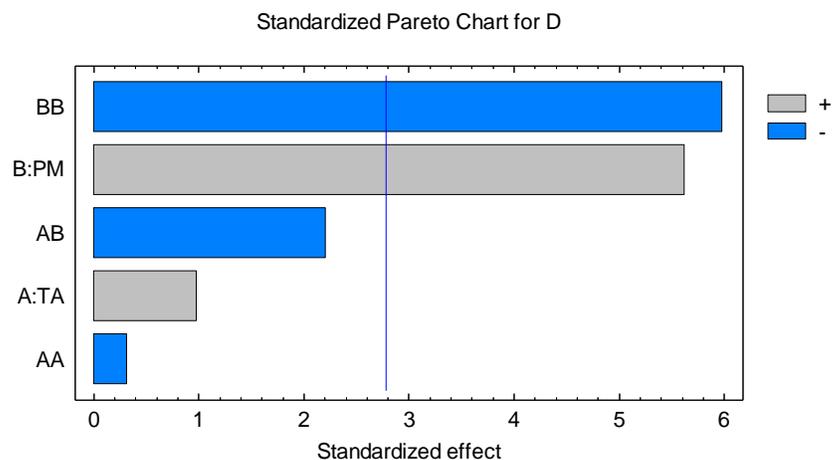


Figura 18: Diagrama de Pareto para la Deseabilidad observada.

Debido a que el R^2 ajustado a los grados de libertad es un tanto bajo, se propuso eliminar el factor que presenta una menor significancia, en este caso el factor AA. Al realizar esta operación, se presenta un $R^2= 94,6955$ y un R^2 (ajustado a los g.l)= $90,4519$ lo que representa un aumento y, por ende, se podría pasar el factor AA a los residuos y simplificar el modelo. Al excluir el factor TA que era el segundo factor menos influyente, se ve una disminución en el R^2 y el R^2 (ajustado a los g.l) ($93,4505$ y $90,1757$ respectivamente), debido a esto se sugiere solo excluir el factor AA.

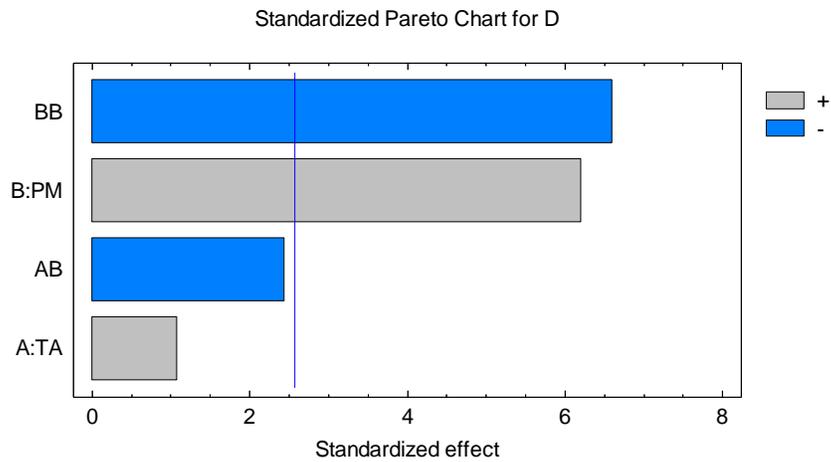


Figura 19: Nuevo diagrama de Pareto para D con el factor AA excluido

Al excluir el factor AA, sigue siendo el factor BB el que representa la mayor significancia y en segundo lugar la potencia del microondas, por otro lado, el factor temperatura del aire sigue siendo el que tiene un menor aporte en el modelo. Se observa que ambos factores influyen de manera positiva, en contraste con lo que se observó en el análisis de cada factor de manera independiente, en donde ambos influían de manera negativa. Esto quiere decir que, cuando se optimizan las tres respuestas en conjunto, al aumentar la temperatura y la potencia del microondas, es posible encontrar un aumento en las tres respuestas de manera simultánea.

En consideración que no se pueden programar potencias en el microondas, solo seleccionar las establecidas por el equipo, se determinó trabajar con una potencia de 180W y una temperatura de 46,1°C. Debido a esto el tiempo de operación se tuvo que ajustar a 13 minutos para lograr la humedad adecuada.

Dadas las nuevas condiciones, las variables respuesta para el tratamiento optimo ajustado se presentan en la tabla 5.

Tabla 5: Comparación de variables entre el óptimo predicho y el ajustado

Óptimo predicho			
Condiciones	CCT	CPT	T
46,1°C,222W	17,66 µg/g	36,55 mg GAE/100g	12,17 min
Óptimo ajustado			
Condiciones	CCT	CPT	T
46,1°C 180W	19,18±0,04 µg/g	38,40±1,32 mg GAE/100g	13 min

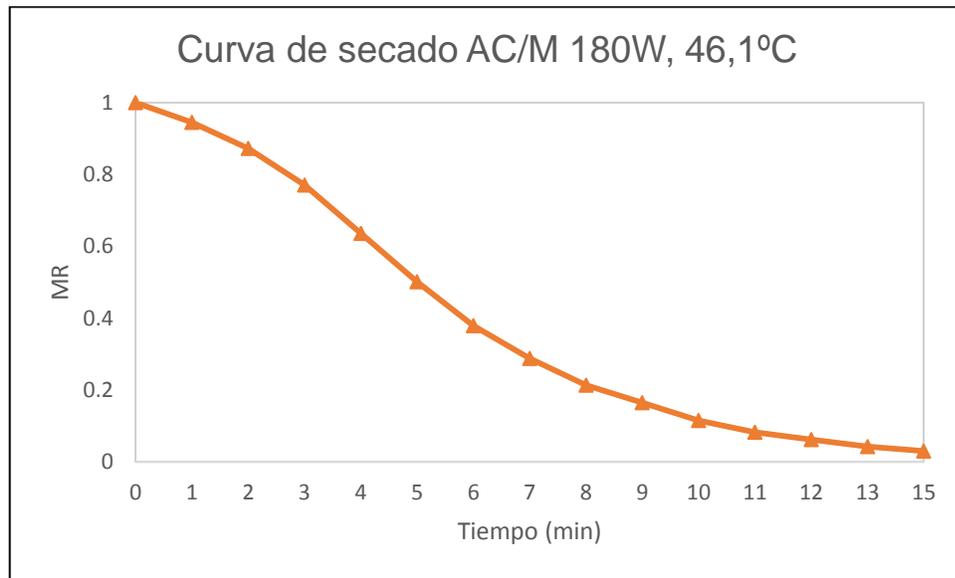
5.2 Estudio del secado por aire caliente asistido con microondas

5.2.1 Curvas de secado

Se realizó un estudio sobre la curva de secado de la pulpa de physalis bajo las condiciones óptimas ajustadas, es decir, a 180W y 46,1°C (gráfica 1). Junto a esta, se realizó también un estudio de la curva de secado de la pulpa sometida a 60°C en un horno convectivo (gráfica 2), debido a que, según bibliografía, la deshidratación entre 60 y 70°C permite llegar a una humedad constante sin dañar de manera notoria las características sensoriales (Juntamay, 2010). Esto con el fin de comparar ambos métodos de secado y observar la pérdida de humedad en el tiempo.

En la gráfica 1, se observa un periodo inicial de secado (entre el tiempo 0 y los 3 minutos) en donde la remoción del contenido de agua es significativa si se considera que los intervalos de pesaje son cada un minuto. Esta pérdida casi inmediata de agua se debe a que el calentamiento con microondas se da en forma volumétrica e inmediatamente las moléculas polares contenidas en el material entran en contacto con la radiación de las microondas (Alvarado, 2017). Posteriormente se alcanza una velocidad de secado constante en donde se remueve la mayor parte de la humedad (desde los 3 hasta los 7 minutos) y posteriormente se alcanza un punto crítico y se empieza a formar una asíntota, evidenciando una remoción lenta hasta llegar a la humedad de equilibrio. Esto se

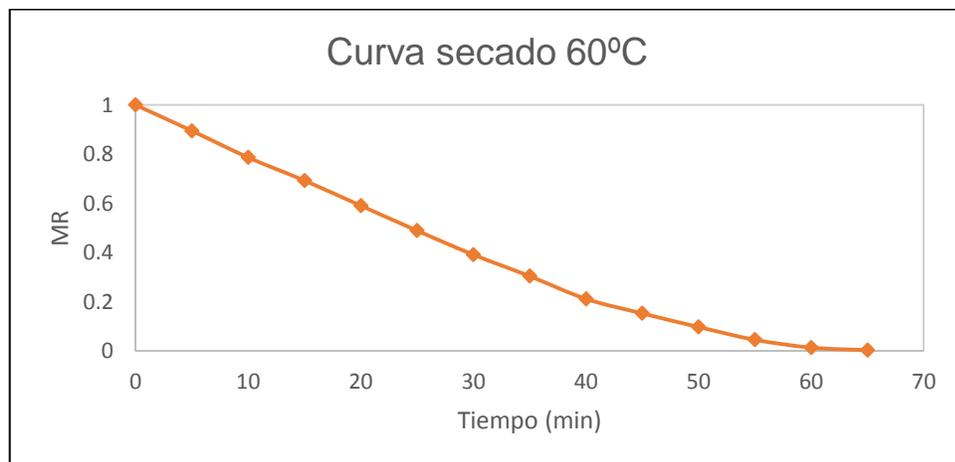
debe a la ausencia del agua que limita la absorción de la energía transportada por la radiación y por consiguiente el secado es más lento (Alvarado, 2017).



Gráfica 1: Curva de secado con aire caliente (46,1°C) asistido por microondas (180 W)

La curva de secado de la pulpa de physalis a 60°C está representada en la gráfica 2. Se observa que, a diferencia de la curva de secado por aire caliente asistido con microondas, no existe de manera clara un periodo inicial de remoción de humedad en la muestra y se comienza rápidamente con una pérdida de agua con velocidad constante, el cual permanece hasta el minuto 40, para luego dar paso al punto crítico y comenzar la caída de velocidad de secado, el cual se da hasta el minuto 55 y posteriormente se llega a la humedad de equilibrio. Un comportamiento similar fue el que presentó la investigación de Juntamay a tres temperaturas (60, 70 y 80°C) en donde las tres curvas de secado estudiadas

comenzaban con una pérdida de agua similar a la reportada en la zona de velocidad constante (Juntamay, 2010). Esto se debe a que las muestras estaban inicialmente a una temperatura mayor que la de bulbo húmedo en el aire, por lo tanto, la curva sigue el comportamiento (Ferreira, 2009). Esta diferencia con respecto al secado por aire caliente asistido con microondas se puede deber principalmente a que el factor determinante estudiado en el equipo es la potencia del microondas y no la temperatura del aire que ingresa, por lo que se evita este comportamiento abrupto en la curva de secado.



Gráfica 2: Curva de secado en horno convectivo a 60°C

Al comparar ambos tratamientos de secado, la curva de secado con microondas reporta efectivamente tiempos considerablemente más cortos, en donde se alcanza una humedad de equilibrio a los 13 minutos de tratamiento, mientras que un secado convectivo convencional requiere de un poco más de una hora, significando una reducción de los tiempos de casi un 80%.

5.2.2 Ajuste de la curva a modelos matemáticos de secado

La curva de secado con aire caliente asistido por microondas se ajustó a modelos matemáticos para tener una noción del comportamiento de dicha curva, con el fin de que se pueda optimizar el proceso o mejorar el diseño del secador en el futuro y generar un escalamiento. Los tres modelos matemáticos elegidos fueron Henderson-Pabis, Page y Midili-Kucuk, los cuales son unos de los más comunes para el modelamiento de las cinéticas de secado en alimentos y se aplicaron a las curvas presentes en las gráficas 3 y 4.

Los parámetros cinéticos obtenidos para cada modelo se encuentran en detalle en el anexo 5. Se observa que para los tres modelos la constante k aumenta cuando se aplica la radiación por microondas, lo cual tiene relación con una pérdida casi inmediata de agua debido al calentamiento volumétrico anteriormente explicado. Lemus-Mondaca et,al. (2015) indica que el aumento de la constante k está relacionado a la difusividad del agua, al ser esta constante mayor, la remoción del agua se logra de manera más fácil. Las otras constantes de los tres modelos no presentaron grandes diferencias entre el secado con y sin microondas, los cuales se mantienen relativamente constantes debido a que en ambos casos la matriz a secar fue una pulpa de fruta, puesto que según lo estudiado por Karathanos y Belessiotis (1999) estos factores podrían verse afectados en el caso de secar rodajas de frutas con o sin piel, aumentando en consecuencia del grosor de la cascara.

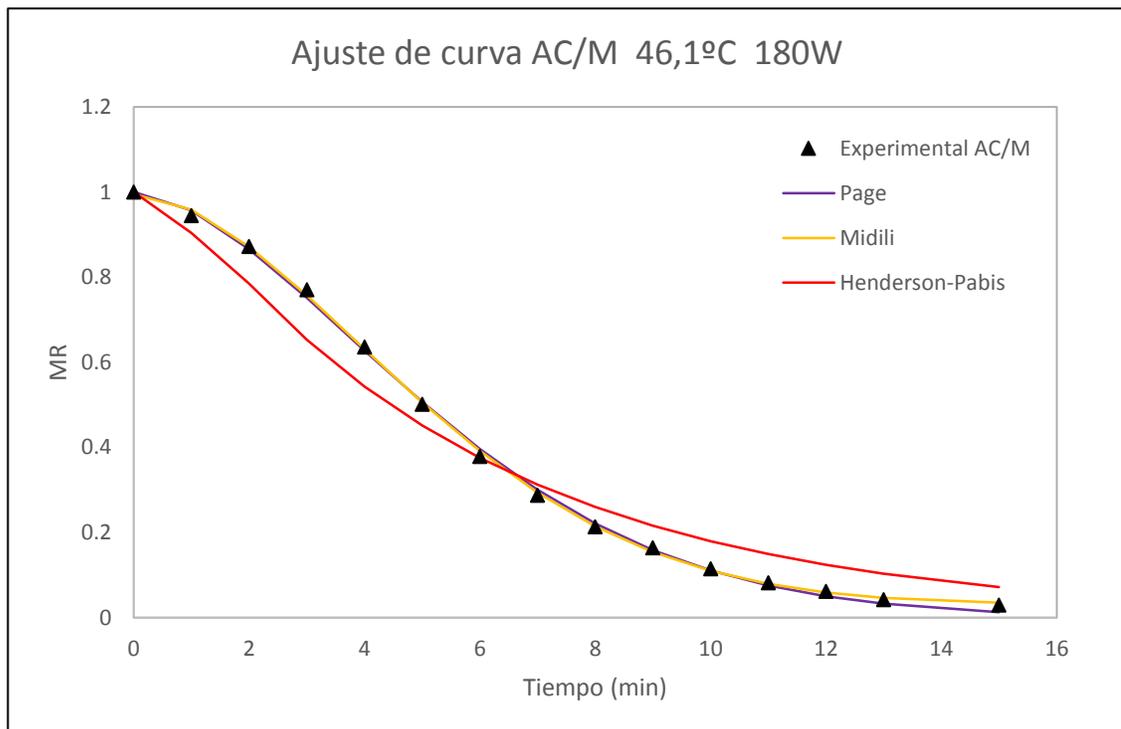
Para elegir el modelo matemático con mejor ajuste es necesario encontrar aquel con mayor correlación R^2 y menores RSME y X^2 . En la tabla 6 se puede observar los resultados de los parámetros estadísticos para los tres modelos aplicados.

Tabla 6: Parámetros estadísticos para secado con aire caliente asistido por microondas y secado convencional a 60°C.

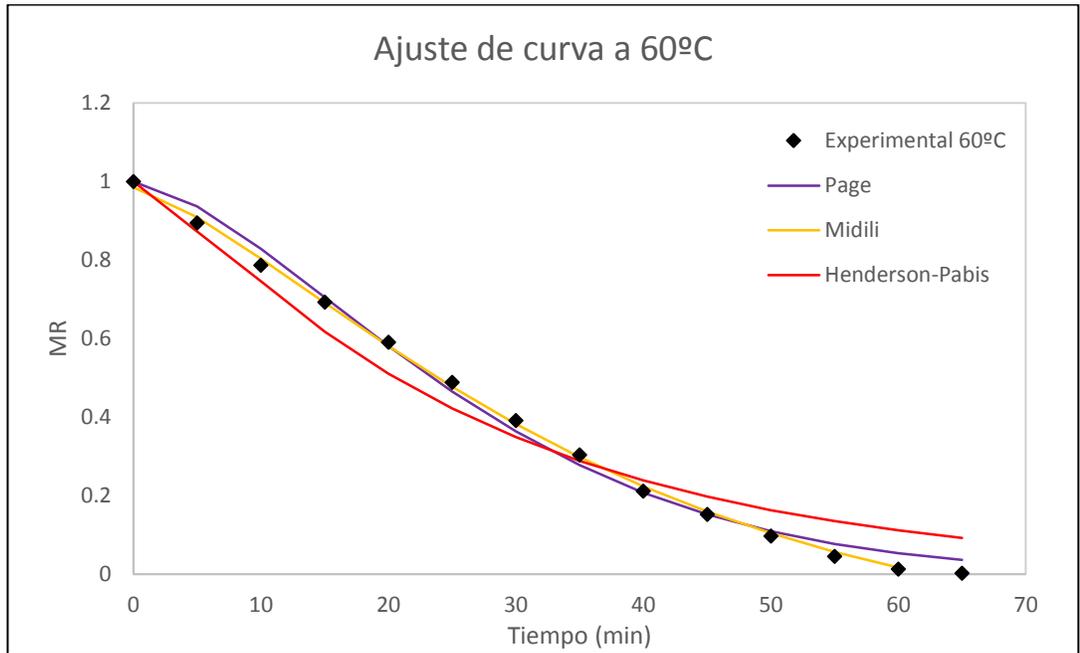
Correlación R^2			
	HP	PAGE	MIDILI
AC/M	0,8828	0,9315	0,9205
60°C	0,9013	0,9494	0,9807
Correlación RSME			
	HP	PAGE	MIDILI
AC/M	0,0512	0,0097	0,0003
60°C	0,2835	0,2773	0,0054
Correlación X^2			
	HP	PAGE	MIDILI
AC/M	0,0030	0,0001	1,2987E-07
60°C	0,0927	0,0887	4,1755E-05

El modelo con un mayor R^2 para el secado con aire caliente asistido por microondas es el de Page, mientras que para el secado convencional a 60°C es

el modelo Midili. Por otra parte, tanto en el parámetro estadístico RSME y X^2 , el modelo Midili es el que cuenta con los valores más bajos tanto para el secado con aire caliente asistido por microondas como el secado convencional a 60°C. Lo que lo posiciona como el mejor modelo matemático para ambos tratamientos de secado. En las gráficas 5 y 6 se muestran las curvas experimentales y las de valores predichos en cada modelo, en donde en ambos casos los modelos Page y Midili tienen una alta calidad de ajuste. Resultados en otros estudios con matrices hortofrutícolas revelaron que el mejor modelo que describe el secado en microondas (180 a 540W) es el modelo de Midilli et al. (Darvishi et al., 2014).



Gráfica 3: Ajuste de curva de secado por aire caliente asistido con microondas a 3 modelos matemáticos



Gráfica 4: Ajuste de curva de secado por aire a 60°C a 3 modelos matemáticos

5.3 Resultados análisis de sustancias bioactivas

En la tabla 7 se presentan los resultados obtenidos para el contenido de compuestos bioactivos en la pulpa fresca, además de la pulpa liofilizada y también la pulpa tratada según las condiciones óptimas ajustadas para el secado por aire caliente asistido con microondas. Los análisis estadísticos se encuentran registrados en el anexo 6.

Tabla 7: Contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante en tratamientos de secado

Tratamiento	CCT *	CPT *	CAO *	CAA *
Pulpa fresca	102,97±2,44 ^a	61,60±7,95 ^a	28,64±1,24 ^a	170,09±7,51 ^a
Liofilizado	72,46±2,47 ^b	53,98±5,63 ^a	9,33±0,47 ^b	84,37±3,86 ^b
AC/M	19,18±0,04 ^c	38,40±1,32 ^c	4,44±0,54 ^c	34,75±1,18 ^c

*Resultados en base seca. CCT: contenido de carotenoides totales expresados en µg/g. CPT: contenido de polifenoles totales expresados en mg GAE/100g. CAO: capacidad antioxidante expresada en µmol TE/100g. CAA: contenido de ácido ascórbico expresado en mg/100g

5.3.1 Contenido de carotenoides totales

Los resultados para el contenido de carotenoides totales presentes en la tabla 6 indican diferencias significativas entre ambos tratamientos y también con la pulpa fresca. En cuanto a resultados de carotenoides totales en fruta fresca en base seca, se han reportado resultados cercanos a 16 mg/100 g; las diferencias en composición son debido a factores como la variedad, el estado de madurez,

clima (la luz solar incrementa la producción de carotenoides en la planta), geografía del lugar de producción y prácticas agrícolas (Málaga et al, 2013).

Las diferencias encontradas entre el tratamiento de liofilización y la pulpa fresca podrían deberse a que este compuesto es sensible a la luz (el equipo liofilizador consta de una cámara de acrílico transparente) y presencia de oxígeno, variables no controladas en este proceso, además de la forma de condicionamiento de las muestras, entre otros factores tales como velocidad de congelación, presión y la temperatura que no fueron controlados en la liofilización (Huachuhuillca, 2017).

Se han observado disminuciones de carotenoides totales en tratamientos de liofilización de distintas variedades de mangos, reportándose pérdidas de hasta un 40,9% (Surco-Laos et al, 2017), por lo tanto, es de esperarse que el mantenimiento de estos compuestos bioactivos disminuya levemente. Por otra parte, hay una clara diferencia entre el contenido en el fruto liofilizado y el fruto secado por aire caliente asistido con microondas, así mismo, se observa una gran disminución si se compara con el fruto fresco, esto también es debido a lo explicado anteriormente, agregando además los efectos destructivos de la temperatura (Meléndez-Martínez et al, 2004).

5.3.2 Contenido de polifenoles totales

Los resultados de polifenoles totales arrojan diferencias significativas solo entre la pulpa fresca y la tratada por aire caliente asistido con microondas, mientras que existe una mínima diferencia entre la pulpa fresca y la liofilizada. En cuanto al contenido de la pulpa fresca, se han reportado diversos contenidos dependientes del estado de maduración y condiciones de cultivo del fruto; Vasco reporta un contenido de 87 mg GAE/100g en una investigación sobre compuestos fenólicos de frutos consumidos en Ecuador, en donde es clasificado como un fruto de bajo contenido de compuestos fenólicos totales. En cuanto al fruto liofilizado, Huachuquilla reporta una retención de un 97,76% de compuestos fenólicos totales al liofilizar la pulpa de physalis, sin encontrar diferencias significativas, tal como se presentan en los resultados hallados en esta investigación, en donde la retención es de un 87,62 %.

Al hablar del tratamiento por aire caliente asistido con microondas, se encontraron diferencias significativas entre la pulpa fresca y la deshidratada, habiendo entonces una retención de un 62,33%. Si se compara este tratamiento con un secado convectivo como reporta Ponce y Rodríguez a 50, 55 y 60°C, se observa que los resultados varían entre 4,54 a 5,05 mg GAE/100 g de muestra, observando que mientras más alta es la temperatura empleada, menor es el resultado (Ponce y Rodríguez, 2014), por lo que se puede asegurar que el tratamiento de secado por aire caliente asistido con microondas es superior en el mantenimiento del contenido de polifenoles totales.

5.3.3 Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante obtenida en este estudio para la pulpa fresca fue similar a la reportada por Cerón en una revisión de la capacidad antioxidante de frutas cultivadas en la región andina, encontrando una actividad antioxidante para la pulpa de uchuva o physalis entre 19,3 a 29,1 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ (Cerón et al. 2010). Se encontraron diferencias significativas entre la pulpa fresca y los tratamientos de secado. La pérdida de la actividad antioxidante en ambos tratamientos puede atribuirse principalmente a la pérdida de carotenoides totales que son sustancias con reconocida actividad antioxidante (Surco-Laos et al, 2017). En cuanto al tratamiento de liofilización, las diferencias se pueden deber a los factores tales como los parámetros de concentración de la pulpa, velocidad de congelación lenta, presión y la temperatura de liofilización (Shofian et al, 2011). Por otra parte, es esperable que el tratamiento de microondas asistido por aire caliente obtuviera el valor más bajo ya que al utilizar temperaturas, esta tiene una disminución notoria, tal como reporta Ponce y Rodríguez, en donde se obtuvieron valores fluctuantes entre 2,27 a 2,74 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ en tratamientos con temperaturas desde los 50 a los 60°C (Ponce y Rodríguez, 2014).

5.3.4 Contenido de ácido ascórbico

Málaga reporta un contenido de ácido ascórbico de 131 mg/100 g de ácido ascórbico en pulpa fresca de physalis (Málaga et al, 2013), mientras que

Huachuhuilla obtuvo 182,32 mg/100g de ácido ascórbico en su estudio (Huachuhuilla,2017). El contenido de ácido ascórbico obtenido en esta investigación fue de 166,76 mg/ 100 g, encontrándose dentro del rango de los autores consultados. Se encontraron diferencias significativas entre el contenido presente en la pulpa fresca y en la pulpa liofilizada. La investigación de Vargas sobre polvo liofilizado de cocona, un fruto con alto contenido de ácido ascórbico reporta una retención del 87,5% cuando el polvo estaba compuesto solo de pulpa, mientras que al analizar el polvo compuesto por pulpa más semilla y epidermis se reportó una retención del 44,8% en donde la presencia de epidermis en la muestra señaló una mayor pérdida de ácido ascórbico debido a su inestabilidad en soluciones acuosas aisladas (Vargas, 2015). Al igual que la pulpa fresca tratada durante esta investigación, las semillas y la piel del fruto no fueron excluidas, a lo cual podría ser atribuible la poca retención obtenida igual a un 50,5%. Algo similar ocurrió en el tratamiento de la pulpa por aire caliente asistido con microondas, en donde se obtuvo un contenido de 34,75 mg/100 g de ácido ascórbico, representando una retención del 20,8%. Este resultado puede deberse a lo explicado anteriormente, y además debido a que esta sustancia es lábil en presencia de humedad y oxígeno, pH, agentes oxidantes, temperatura y presencia de iones metálicos especialmente cobre y hierro (King, 1987). Al consultar investigaciones sobre el contenido de ácido ascórbico en tratamientos de secado por aire caliente a temperaturas entre 60°C a 80°C, se reportan pérdidas entre 39 % a 69% respectivamente (Juntamay, 2010), teniendo un

mayor mantenimiento que el resultado encontrado en el tratamiento con el secado por aire caliente asistido con microondas, lo cual sería un punto negativo al agregar el physalis deshidratado con microondas como un ingrediente funcional.

5.4 Resultados análisis físico

5.4.1 Humedad

Como era de esperarse, se encontraron diferencias significativas entre el contenido de humedad entre el tratamiento de liofilización y el tratamiento de secado por aire caliente asistido con microondas (Anexo 6). Por otra parte, el contenido de humedad de la pulpa fresca tuvo un promedio de 81,26%. Juntamay reporta una humedad para la fruta fresca de 82,31% (Juntamay, 2010). En cuanto a los valores de la fruta deshidratada, aquella que fue liofilizada obtuvo un valor de 3,59%. Huachuhuilca reportó un contenido de 6,8% de humedad en pulpa de physalis liofilizada (Huachuhuilca, 2017). Surco-Laos reporta un contenido de humedad sobre cuatro variedades de mango liofilizado que fluctúan entre los 2,32 a 3,34% (Surco-Laos, 2017).

La pulpa de fruta tratada por aire caliente asistido con microondas reportó un contenido de humedad de 9,93%, un tanto más baja que lo reportado por Juntamay en pulpa de physalis deshidratada a 70°C, obteniendo en promedio 9,12% (Juntamay, 2010). Ponce y Rodríguez indicaron obtener humedades de 13,18%, 11,55% y 10,71% para tratamientos de secado a 50°C, 55°C y 60°C respectivamente (Ponce y Rodríguez 2014). En un estudio de secado de fresas en microondas asistido con aire caliente, realizado por Alvarado, se reportó una remoción del 85% del peso de las muestras a 45 minutos de tratamiento a una potencia de 100W y alcanzando los 50°C a partir de una humedad del 90%

(Alvarado, 2017), logrando una humedad final del producto más baja que la encontrada en esta investigación, esto puede deberse a que el tiempo de exposición al tratamiento fue tres veces más prolongado que el estudiado y con una temperatura de 5°C más alta. Sin embargo, como se revisó en esta investigación, la potencia del microondas resulta más influyente que la temperatura, por lo que la temperatura más baja puede atribuirse netamente al tiempo de secado.

5.4.2 Análisis de color

En la tabla 8 se muestran los resultados de las mediciones de color para la pulpa fresca, liofilizada y tratada con microondas asistido con aire caliente. Los análisis estadísticos se presentan en el anexo 7.

Tabla 8: Análisis de color en tratamientos de secado

Tratamiento	L*	a*	b*	ΔE	C*
Pulpa fresca	66,6±1,5 ^a	9,3±1,5 ^a	65,6±0,5 ^{b,c}	-	66,3±0,3 ^a
Liofilizado	68,6±2,5 ^a	5±1 ^b	67,6±5,8 ^b	5,17	67,8±5,9 ^a
AC/M	54,6±2,5 ^c	27,3±1,5 ^c	59±2 ^c	22,64	65,0±1,4 ^a

Se observa que para la pulpa fresca presenta una luminosidad de 66,66, mientras que el fruto liofilizado presenta un valor un tanto más alto sin diferencias significativas. Al igual que Vargas, en su estudio de polvos liofilizados de cocona,

reportó valores de luminosidad más altos que en la pulpa de cocona fresca (Vargas 2015); al realizar un análisis de la cinética del color en frutas liofilizadas, la luminosidad aumenta si es comparada con luminosidad de productos secados por convección (Guiné & Barroca, 2012). El secado por aire caliente asistido con microondas presenta un valor de 54,66 con diferencias significativas entre la pulpa fresca y también la liofilizada, lo cual indica que el tratamiento produce una pérdida de luminosidad, tal como se reporta en tratamientos de secado con aire caliente, como se ha demostrado en deshidratación de physalis, indicándose una luminosidad de 47,25 a 60°C y 42,48 a 70°C (Mahecha, 2011).

En cuanto a los valores a^* se presentan diferencias significativas entre los tres grupos, indicando en la pulpa fresca tonalidades un tanto rojizas, en la liofilizada un tono un tanto más bajo hacia las tonalidades verdosas y en el caso del secado por aire caliente asistido con microondas, se evidencian tonalidades más rojizas, lo que podría deberse a una caramelización de la fruta. Para los valores de b^* , se observan diferencias significativas entre tratamientos, pero no con respecto a la pulpa fresca, lo que indica que, si bien no hay diferencias significativas entre el liofilizado y el fresco y así mismo entre el fresco y el tratado con aire caliente asistido con microondas, el fresco se encuentra en un valor intermedio. Se observa que la pulpa fresca presenta una tonalidad amarilla, algo similar a la liofilizada, y la secada con microondas, una tonalidad más anaranjada. Las frutas liofilizadas tienen mejores características de colores rojos y amarillos, comparado con frutas deshidratadas por métodos tradicionales (Shishegarha et al., 2002).

Al estudiar el parámetro Croma, no se evidencian diferencias significativas, lo cual sugiere que ambos tratamientos mantienen la viveza del color original de la pulpa de physalis.

Finalmente, al revisar la diferencia de color total con el parámetro ΔE , se observa una diferencia más notoria entre la pulpa fresca y el tratamiento por aire caliente asistido con microondas (22,64) que la diferencia existente entre la pulpa fresca y la liofilizada (5,17), tal como se aprecia en la figura 20, en donde se puede comparar de manera gráfica los colores obtenidos, indicando claramente una mayor similitud entre la pulpa fresca con la liofilizada y una diferencia más notoria entre la fresca y la tratada con microondas asistido por aire caliente.



Figura 20: Análisis gráfico de color en tratamientos de secado

Esto puede deberse principalmente a que el tratamiento de liofilización mantiene de manera significativa el contenido de carotenoides totales, pigmentos responsables del color característico del fruto estudiado, no así el tratamiento con aire caliente asistido con microondas, que genera una gran destrucción de estos compuestos bioactivos.

5.4.3 Capacidad de retención de agua

El resultado de la capacidad de retención de agua para la pulpa liofilizada fue de $6,46 \pm 0,26$ g de agua/g de materia seca, mientras que para la pulpa tratada según las condiciones óptimas en el secado por aire caliente asistido con microondas fue de $4,78 \pm 0,19$ g de agua/g de materia seca, presentando diferencias significativas (Anexo 7). Estas diferencias pueden atribuirse a que, a medida que aumenta la temperatura de secado, se produce un mayor daño de los tejidos vegetales (membrana y pared celular), lo que implica una menor capacidad de retención de agua, es decir, que los tejidos al estar más dañados son capaces de absorber agua, pero no pueden retenerla (Marín et al. 2006). Resultados similares fueron los obtenidos por Serna-Cock sobre polvos de cascara de mango liofilizada, en donde se aprecia que estos fluctúan entre 6 a 8 g de agua/g de materia seca, dependiendo de la variedad y el diámetro de partícula (Serna-Cock et al, 2015). Polvos alimentarios con estas características de retención de agua pueden ser utilizados como ingredientes o aditivos en formulaciones de alimentos funcionales.

5.4.4 Microscopia electrónica de barrido

En la figura 21-A se observa la microestructura de la cáscara del fruto fresco, apreciando protuberancias llamadas emergencias (Roth, 1977), y se comportan como una estructura secretora y que otorga al fruto una textura semi-rugosa. Por otra parte, están formadas por células de la epidermis e hipodermis. En la figura 21-B se observa la microestructura de la semilla, que, según Valencia consta de una sutil diferenciación entre la testa (capa externa de la semilla) y el tejido parenquimático, el cual funciona como soporte en la red celular (Valencia, 1985).

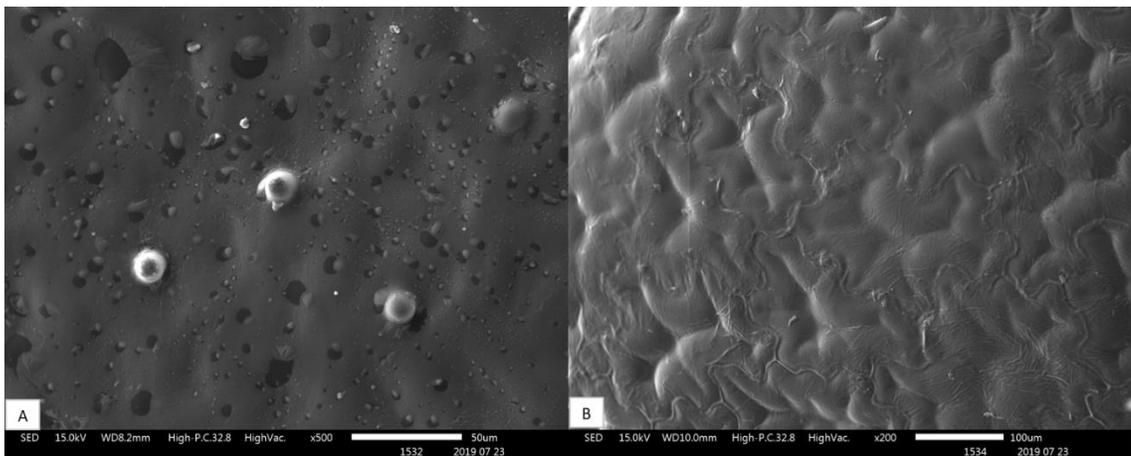


Figura 21: Microestructura de *Physalis peruviana* fresco, pertenecientes a la cáscara (21-A) y semilla (22-B)

En la figura 22 se aprecia la estructura de la cáscara de la pulpa deshidratada luego de aplicar los tratamientos estudiados. Se observa en la figura 22-A el tratamiento de liofilización, el cual mantuvo las estructuras mencionadas anteriormente (emergencias) con algunos pliegues en la epidermis, sin embargo, no se ven daños ni rupturas o cambios importantes en la superficie.

Los estudios realizados por Karelovic sobre arándanos liofilizados arrojan resultados similares, observando una estructura más bien lisa en la piel del fruto, con algunos pliegues, leves cambios en la tonalidad de la superficie y sin rupturas (Karelovic, 2012).

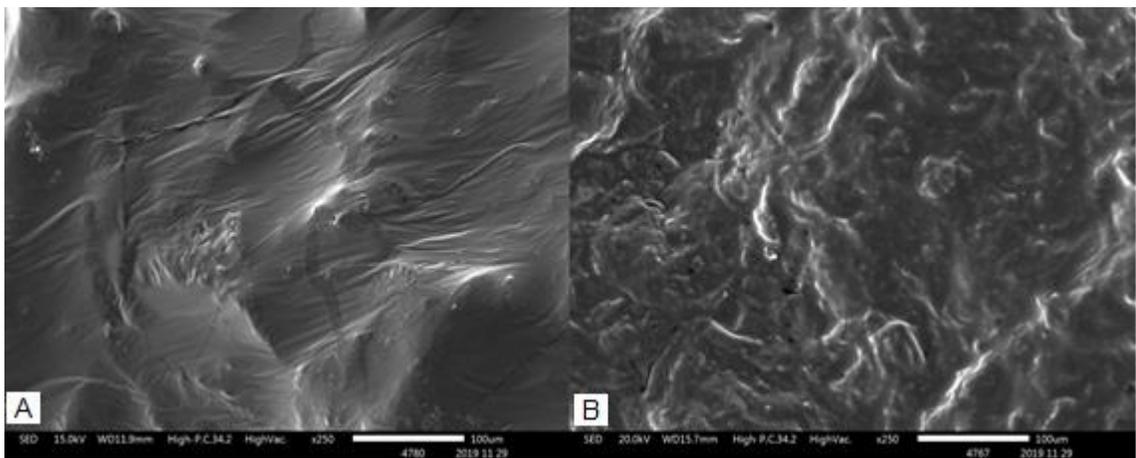


Figura 22: Microestructura de la cáscara de *Physalis peruviana* deshidratada por liofilización (22-A) y deshidratada por secado con aire caliente asistido por microondas (22-B)

Por otra parte, en la figura 22-B se observa la cáscara de la pulpa de fruta luego del tratamiento óptimo de secado por aire caliente asistido con microondas. Al comparar la imagen con el tratamiento de liofilización o el fruto fresco se observa una clara destrucción del tejido vegetal, en donde los cambios de tonalidades en la figura indican una “superficie quemada”, sin integridad de la estructura en la piel al no observar las emergencias anteriormente descritas. Algo similar ocurre con tratamientos que utilizan altas temperaturas (secado a 60-65°C), según lo observado por Karelovic en arándanos deshidratados por secado

convencional, en donde se describen grietas e imperfecciones en el tejido celular, observando una superficie muy irregular (Karelovic, 2012).

En la figura 23 se observa la microestructura correspondiente a la semilla luego de aplicar los tratamientos estudiados. En la figura 23-A se aprecia la semilla liofilizada, indicando un mantenimiento de la estructura en comparación a la semilla del fruto fresco, evidenciando una superficie lisa en la testa. Las semillas de arándano liofilizadas observadas por Karelovic también mantienen el entramado original. En la figura 23-B se aprecia la microestructura de la semilla tratada con secado por aire caliente asistido por microondas, en donde se observa un deterioro notorio en comparación a la semilla fresca o liofilizada, cambiando la superficie de la testa de una lisa a una rugosa, obteniendo una diferenciación del tejido parenquimático.

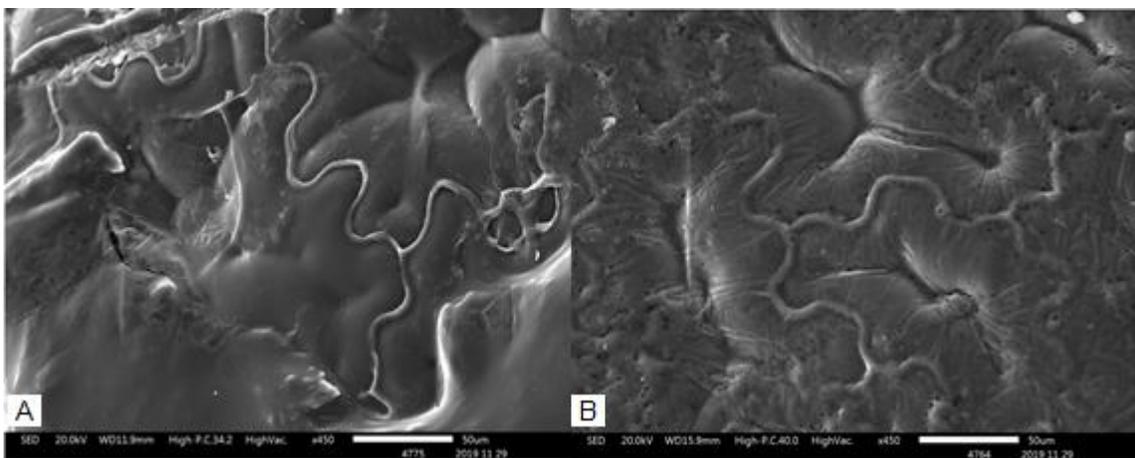


Figura 23: Microestructura de la semilla de *Physalis peruviana* deshidratada por liofilización (23-A) y deshidratada por secado con aire caliente asistido por microondas (23-B)

5.5 Adición de physalis como ingrediente a fruit leather

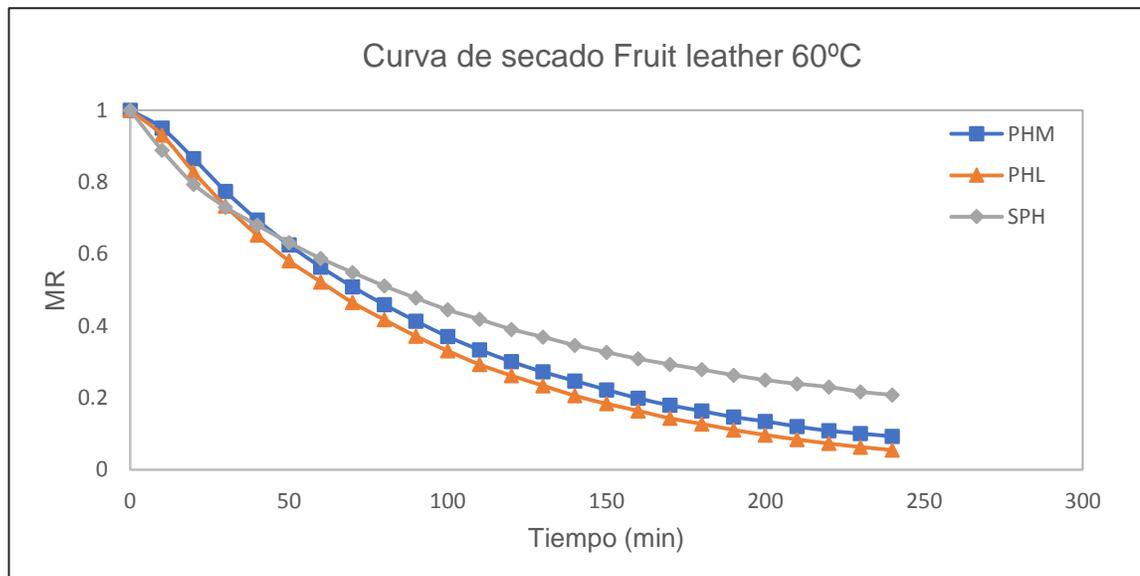
5.5.1 Humedad

En los tres casos se reportaron humedades similares de 65% antes de comenzar con el proceso de secado. Al finalizar el proceso de secado, se reportaron humedades de 19,34% para la lámina sin physalis, un 17,52% para la lámina con physalis liofilizada y un 17,22% para la lámina con physalis tratada por aire caliente asistido con microondas. Covacevich reportó humedades entre un 15 a 16% en láminas de pulpa de manzana de distintas variedades (Covacevich, 2017), mientras que, por otra parte, se han encontrado humedades entre 11 a 15% en láminas de manzana sin adición de otra pulpa (Guerra, 2005), lo cual es un resultado un tanto inferior.

5.5.2 Curvas de secado

En la gráfica 5 se observan las curvas de secado para las tres láminas elaboradas a partir de pulpa de manzana y physalis deshidratada. Se observa que la lámina sin adición de physalis comienza a perder humedad rápidamente, sin embargo, alcanza una humedad de equilibrio un tanto más alta que la humedad de equilibrio para aquellas con physalis añadida, esto puede deberse a que hay una disposición más homogénea, mientras que en las láminas con physalis hay un proceso de mezcla entre pulpa concentrada de manzana y pulpa

deshidratada, lo que supone una aireación y por ende, una formación de poros, lo que hace que durante el proceso de secado, el agua se libere más fácilmente.



Gráfica 5: Curva de secado de láminas de manzana sin physalis (SPH), con physalis liofilizada (PHL) y physalis deshidratada por aire caliente asistido con microondas (PHM).

Debido a que la lámina sin physalis está compuesta 100% por manzana, se concentra totalmente los azúcares de la manzana, generando una barrera parcial para resistir el movimiento libre de la humedad (Maskan, 2002), llegando a una humedad de equilibrio antes que las otras dos láminas, las cuales tienen una velocidad de secado constante más duradera y también llegan a un punto crítico similar para luego entrar a una etapa de secado lento más corta. Dado que no se aprecian diferencias entre ambas curvas de secado, se puede inferir que el método de deshidratación de la pulpa de physalis no influye en la cinética de secado de la lámina.

5.5.3 Análisis de sustancias bioactivas

Los resultados obtenidos para los compuestos bioactivos y actividad antioxidante en el producto fruit leather en sus tres formatos se presentan en la tabla 9. Los análisis estadísticos se encuentran registrados en el anexo 8.

Tabla 9: Compuestos bioactivos y actividad antioxidante en fruit leather

Tratamiento	CCT*	CPT*	CAO*	CAA*
SPH	3,03±0,28 ^a	152,07±0,82 ^a	12,60±0,20 ^a	7,86±1,13 ^a
PHL	9,77±1,14 ^b	217,91±27,74 ^b	17,69±0,22 ^b	27,67±2,63 ^b
PHM	5,33±0,24 ^c	161,66±17,04 ^a	14,19±0,12 ^c	18,86±2,80 ^c

*Resultados en base seca. CCT: contenido de carotenoides totales expresados en µg/g. CPT: contenido de polifenoles totales expresados en mg GAE/100g. CAO: capacidad antioxidante expresada en µmol TE/100 g. CAA: contenido de ácido ascórbico expresado en mg/100g.

Contenido de carotenoides totales

Se observaron diferencias significativas entre los tres grupos, destacando un aporte importante de carotenoides totales el physalis liofilizado. En cuanto al producto sin physalis, el resultado reportado es muy similar a lo encontrado por Vidarte y Ortiz en un estudio a los componentes fitoquímicos presentes en las cascaras de diversas frutas de consumo común, hallando en las cascaras de manzana 3,2µg/g (Vidarte y Ortiz, 2018). Por lo cual el resultado obtenido en esta investigación es atribuido al contenido de las cascaras, las cuales no fueron

descartadas al hacer la pulpa. Al agregar physalis liofilizado se produjo un aumento significativo comparado al producto sin physalis, sin embargo, este contenido es muy bajo comparado al contenido de estos compuestos en el physalis liofilizado. Esta disminución se produjo debido a la temperatura de secado requerida para el procesamiento de la pulpa de manzana. De la misma manera, el fruit leather con el physalis secado por aire caliente asistido con microondas tuvo un leve aumento de carotenoides, el cual fue menor al aporte que tuvo el physalis liofilizado.

Contenido de polifenoles totales

Se encontraron diferencias significativas entre el fruit leather sin physalis y el fruit leather con physalis liofilizada, no así con el fruit leather con physalis secado por aire caliente asistido con microondas, debido a que de por sí el contenido aportado inicialmente era relativamente bajo, y expuesto a un secado convectivo durante el procesamiento de la lámina degradó gran parte de su contenido. Se han reportado valores cercanos a 150 mg GAE/100g en pulpas de manzana Fuji (Palomo et al. 2010). Por lo que el resultado hallado en la lámina de fruit leather sin adición mantendría el contenido inicial de la pulpa o lo concentraría levemente, debido a que la estructura de los polifenoles presentan uno o más anillos tipo normalmente acoplados a azúcares (glucósidos) por ende, al aumentar los azúcares ($^{\circ}$ Brix) propios de la manzana en el concentrado, se

produce una modificación estructural y podría ocurrir que mientras haya un mayor contenido de azúcares, exista mayor cantidad de glucósidos presentes y de esta forma el contenido de polifenoles podría aumentar (Covacevich, 2017). Cortez reporta un contenido de polifenoles fluctuante entre 110 a 156 mg GAE/100g sobre láminas de frutas con distintas proporciones entre pulpa de manzana y arándano (Cortez, 2018), resultando ser un contenido más bajo al comparar con las láminas elaboradas a partir de pulpa fresca de manzana en conjunto con pulpa deshidratada de physalis con ambos métodos estudiados.

Capacidad antioxidante

Existen diferencias significativas entre las tres láminas estudiadas, en donde la que obtuvo el contenido más alto fue aquella con adición de physalis liofilizada (17,69 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$), lo cual se condice con los resultados obtenidos en los otros compuestos bioactivos, teniendo los valores más altos en el contenido de carotenoides totales, polifenoles totales y contenido de ácido ascórbico. Leyva reportó resultados de actividad antioxidante para pulpa de manzana extruida entre los 105° a 175°C cercanos a los 5 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ sin diferencias significativas entre tratamientos, siendo el motivo del bajo contenido las altas temperaturas empleadas (Leyva et al. 2015).

Contenido de ácido ascórbico

El contenido de ácido ascórbico presente en pulpa fresca de manzanas analizada por Guerra reporta un contenido de 5,10 mg/100 g (Guerra, 2005), siendo un poco más bajo que el fruit leather realizado en esta investigación, lo cual indica que es posible que el contenido de ácido ascórbico aumente levemente debido a la concentración por pérdida de humedad. En la misma investigación de Guerra, se realizaron tres fruit leather compuestos por diferentes proporciones entre pulpa de manzana y arándano, en donde se reportó que el producto con mayor contenido de ácido ascórbico fue aquel con una proporción de 1:1 entre las pulpas de ambas frutas, reportando un contenido de 5,89 mg/100 g de ácido ascórbico (Guerra, 2005). En la presente investigación se encontraron diferencias significativas entre los productos con physalis liofilizada y physalis secado por aire caliente asistido con microondas, encontrando valores de 27,67 mg/100 g y 18,86 mg/100 g respectivamente. En ambos casos hay un aumento significativo de esta sustancia respecto a la lámina elaborada solo con manzanas, en donde se ve favorecido el producto ya que esta cumple un rol como inhibidor del pardeamiento enzimático (Lozano et al, 1993). Es sabido que, para reducir las pérdidas de color y nutrientes durante el tratamiento de secado en este producto, se agregan antioxidantes tales como ácido ascórbico, ácido cítrico, jugo de limón o jugo de piña, antes de la etapa de secado (Cid, 2007).

Debido a que la dosis diaria recomendada para el ácido ascórbico es de 75 mg al día (FAO, 2002) , la propuesta de un producto con physalis liofilizada como ingrediente representaría un producto con una “buena fuente” de ácido ascórbico ya que contiene un 14,75% de ácido ascórbico por porción asumiendo que esta fuera de 40 g como se encuentra actualmente en el mercado.

5.5.4 Análisis de color

En la tabla 10 se muestran los resultados de las mediciones de color para la pulpa fresca, liofilizada y secado por aire caliente asistido con microondas. Los análisis estadísticos se presentan en el anexo 9.

Tabla 10: Análisis de color en fruit leather

Tratamiento	L*	a*	b*	(ΔE)	C*
SPH	39,3±3,5 ^a	14,6±1,1 ^a	37,6±2,3 ^a	-	40,4±1,7 ^a
PHL	63,3±4,7 ^b	10,6±6,1 ^a	47±13 ^{a,c}	26,06	48,5±12,5 ^{a,c}
PHM	64,6±7,5 ^b	19,3±10,2 ^a	58,6±2,0 ^c	33,23	62,3±2,8 ^c

En cuanto a la luminosidad de las láminas, se observan diferencias significativas entre la lámina sin adición de physalis y aquellas con adición de physalis mientras que no hay diferencias significativas entre ellas. Se registró un valor de 39,3 para la lámina sin physalis, 63,3 para aquella con physalis liofilizado

y 64,6 para la lámina con physalis secado por aire caliente asistido con microondas. El valor obtenido en la lámina sin physalis se puede deber a un mayor pardeamiento de la pulpa de fruta durante el secado debido a una baja concentración de ácido ascórbico, no así en las láminas con physalis cuentan con un menor pardeamiento debido a la acción de este compuesto bioactivo. Algo similar reportó Cid en láminas elaboradas a partir de frutillas con y sin adición de ácido ascórbico, en donde aquellas con adición reportaron un mayor valor para L^* con diferencias significativas respecto a la lámina sin ácido ascórbico (Cid, 2007).

No se presentaron diferencias significativas entre las tres láminas para el parámetro a^* , lo que indica para los tres formatos una coloración más rojiza. En el caso del parámetro b^* , se encontraron diferencias entre la lámina sin physalis y la lámina con physalis secado por aire caliente asistido con microondas, no así entre aquella con pulpa liofilizada y las otras dos mencionadas anteriormente, arrojando tonalidades menos amarillas en la lámina sin physalis, tonalidades más amarillas en aquella con pulpa liofilizada y tonalidades más anaranjadas en la lámina con pulpa deshidratada con aire caliente asistido con microondas. Esta tonalidad más anaranjada puede deberse a que los pigmentos de los carotenoides aportados por la pulpa sufrieron una degradación mayor debido al calor del tratamiento.

Los valores entregados en el parámetro Croma (C*), indicaron resultados similares a lo ocurrido con b*, en donde hay diferencias entre la lámina sin physalis y la lámina con physalis secado por aire caliente asistido con microondas, mientras no hay diferencias entre la lámina con pulpa liofilizada y las otras dos estudiadas, indicando una saturación o un color más opaco para la lámina sin physalis debido al pardeamiento de la pulpa, una saturación intermedia o un color un tanto más claro para la lámina con pulpa liofilizada y una saturación más intensa o un color más vivido para la lámina con pulpa secada por aire caliente asistido con microondas. Este color más vivido puede ser atribuido a una mayor caramelización respecto al liofilizado y también a las tonalidades anaranjadas explicadas anteriormente, tal como se aprecia en la figura 24 de manera gráfica.



Figura 24: Análisis gráfico de color en fruit leather

Al hablar de la diferencia de color total, se detectó una diferencia mayor en la lámina con pulpa secada por aire caliente asistido con microondas respecto a la lámina sin pulpa añadida (33,23), esto puede atribuirse a las tonalidades anaranjadas y un mayor valor en el parámetro L*, mientras que la lámina con pulpa liofilizada arrojó un valor de 26,06, indicando una disminución del pardeamiento y un mayor mantenimiento del color original de la pulpa de physalis,

5.5.5 Análisis de textura

Los resultados para los análisis de textura sobre las láminas de fruta se encuentran en la tabla 11.

Tabla 11: Análisis de textura en fruit leather

Tratamiento	Resistencia a la tracción (N)	Fuerza de punción (N)
SPH	0,86±0,04 ^a	2,66±0,19 ^a
PHL	1,38±0,12 ^b	1,36±0,18 ^b
PHM	1,54±0,18 ^b	4,39±0,45 ^c

La textura puede considerarse como una manifestación de las propiedades reológicas de un alimento. Es un atributo importante de calidad que influye en los hábitos alimentarios, la salud oral y la preferencia del consumidor (Castro y cols, 2007).

La medición de la resistencia a la tracción es una prueba de tensión del alimento, y en este caso se aplica para medir cuanta fuerza se debería ejercer

en la mordida para romper el fruit leather, puesto que es un producto de confitería y presenta una mayor adhesividad tanto al envase como una elasticidad en la misma lámina. Al estudiar los resultados para la resistencia a la tracción, se observaron diferencias significativas entre la lámina sin pulpa de physalis (SPH) y aquellas con pulpa de physalis deshidratada. Se observó un valor bajo en la lámina sin physalis, representando un rompimiento de la muestra en la zona central, mientras que las otras dos láminas con valores algo similares presentaron un rompimiento en el extremo superior más cercano a la sonda que realizó la tracción. Esta diferencia puede estar ligada a una mayor presencia de pectina en la lámina sin adición de physalis en comparación a las otras dos, ya que cuanto mayor sea el contenido de pectina, mayor será la dureza, cohesividad y elasticidad de la lámina de fruta (Huang & Hsieh, 2005). Estudios realizados sobre láminas de piña observaron que al aumentar la concentración de pectina de 1 a 1,5% afectó de manera negativa la aceptabilidad de la tenacidad, atribuyendo esto a una disminución de humedad y un aumento en la fuerza de tracción, considerando como óptimo agregar entre 0,5 a 1% de pectina en este tipo de frutas (Phimparian et al, 2011).

La medición de la fuerza máxima de penetración o de punción es una medida de la firmeza o consistencia del producto, generando un efecto superficial e interno que se conoce como esfuerzos de corte y cizallamiento, significando un deslizamiento de dos partes contiguas de un cuerpo en una dirección paralela al plano de contacto, bajo la influencia de una fuerza tangencial a la sección en la

cual actúa (Castro y cols, 2007). Esta prueba fue utilizada para evaluar la masticación de en este producto de confitería. Los resultados indican diferencias significativas entre los tres grupos, en donde la lámina con physalis secado por aire caliente asistido con microondas (PHM) representa el valor más alto, seguido de la lámina sin physalis (SPH) y finalmente la lámina con physalis liofilizado (PHL). Las diferencias pueden deberse a la estructura y la composición del producto, puesto que valores altos indican que la conformación de la matriz interna de la lámina hace que el material resista a la fuerza de penetración de mejor manera, lo que provoca que sea más duro, que aquellas donde se obtenga menor valor, ya que existe un esfuerzo de cizalla mayor en el interior del alimento que se opone al rompimiento (Covacevich, 2017). Observando en la lámina con physalis secado por aire caliente asistido con microondas, se presentó un valor alto debido a que los azúcares del physalis se encuentran caramelizados, significando una estructura más rígida. La lámina con physalis liofilizado presentó el valor más bajo debido a no contar con un contenido tan alto de pectina respecto a la lámina sin physalis, además, los azúcares del physalis tratado no fueron caramelizados previamente como fue en el caso de la lámina con el valor más alto.

6. CONCLUSIONES

- Se realizó la optimización del proceso de secado por aire caliente asistido con microondas, evidenciando un efecto significativo sobre las tres variables estudiadas, en donde mientras más alta es la potencia, el proceso tarda menos tiempo y hay una mayor degradación de sustancias bioactivas. La temperatura del aire caliente tiene un efecto significativo solo en el tiempo, sin embargo, su influencia es considerablemente más baja que la influencia de la potencia del microondas.
- A través de una situación de compromiso se logró maximizar el contenido de sustancias bioactivas y minimizar el tiempo de procesamiento. Debido a que la potencia del microondas no es programable, se utilizó la potencia más cercana a la óptima, siendo las condiciones óptimas ajustadas 46,1°C y 180W, obteniendo $19,18 \pm 0,04$ ug/g para el contenido de carotenoides totales, $38,40 \pm 1,32$ mg GAE/100g para el contenido de polifenoles totales y 13 minutos.
- El efecto de las microondas sobre la curva de secado con aire caliente comprende una remoción considerable del contenido de agua, de manera casi inmediata, debido a la interacción de las moléculas polares al entrar en contacto con la radiación de las microondas, reduciendo los tiempos de secado en casi un 80% en comparación con una curva secado convectivo a 60°C. Esto se comprueba al modelar las curvas de secado y verificar

que la constante k aumenta al agregar radiación por microondas y disminuir la temperatura de secado.

- Al comparar el perfil de sustancias bioactivas de la pulpa fresca versus los dos tratamientos de secado estudiados, se encontraron diferencias significativas para los tres grupos en el contenido de carotenoides totales, capacidad antioxidante y contenido de ácido ascórbico, siendo el secado por aire caliente asistido con microondas el tratamiento con un menor mantenimiento, mientras que la liofilización también tuvo una pérdida significativa de estas sustancias, sin embargo presenta un mantenimiento mucho mayor. Por otra parte, el contenido de polifenoles totales no presenta diferencias significativas entre la pulpa fresca y liofilizada, mientras que la secada por aire caliente asistido con microondas tiene un mantenimiento superior al 50%.
- Las humedades finales de ambos tratamientos de secado corresponden a humedades que permiten una vida útil prolongada bajo buenas condiciones de almacenamiento según literatura, sin embargo, se sugiere realizar un estudio microbiológico para comprobarlo.
- El análisis de color indicó una pérdida de luminosidad y un aumento de tonalidades anaranjadas en el tratamiento de secado por aire caliente asistido con microondas indicando una leve caramelización y pérdida de pigmentos, tal como se vio en el análisis de carotenoides totales. Por otra parte, el tratamiento de liofilización tuvo un mayor mantenimiento de

tonalidades amarillas, indicando un mantenimiento de pigmentos y sustancias bioactivas.

- Se encontraron diferencias significativas en la capacidad de retención de agua entre ambos tratamientos de secado, indicando que al utilizar un tratamiento térmico se produce un daño en los tejidos vegetales, permitiendo absorber agua, pero inhabilitando al material la retención de esta.
- Las imágenes obtenidas a través de la microscopía electrónica de barrido evidencian un mantenimiento de las estructuras vegetales (piel y semilla) en el caso del tratamiento con liofilización, mientras que para el tratamiento de secado por aire caliente asistido con microondas, se observa una clara destrucción en dichas estructuras.
- Fue posible agregar satisfactoriamente los productos obtenidos de ambos tratamientos de secado a la formulación fruit leather de manzana en una proporción 30/70. Las tres láminas estudiadas obtuvieron humedades similares, sin embargo, las curvas de secado evidenciaron que la adición de physalis supone una aireación y ende una deshidratación más rápida.
- Al estudiar el perfil de sustancias bioactivas de las tres láminas de fruta, existe un aumento significativo de las sustancias estudiadas (contenido de carotenoides totales, polifenoles totales y ácido ascórbico, además de la capacidad antioxidante) al agregar physalis liofilizada. Por otra parte, la lámina con physalis tratada con aire caliente asistido con microondas,

presenta un leve aumento en el contenido de polifenoles totales, ácido ascórbico y capacidad antioxidante.

- El análisis de color indica una pérdida de luminosidad al agregar pulpa de physalis deshidratada y una disminución notoria del pardeamiento. Se presentan tonalidades más anaranjadas en la lámina con pulpa de physalis tratada con aire caliente asistido con microondas debido a una mayor caramelización respecto a la lámina con pulpa de physalis liofilizada.
- Los análisis de textura indican una mayor elasticidad en la lámina sin adición de physalis al realizar el ensayo de tracción. Al evaluar la masticación a través de un ensayo de punción, se observaron diferencias significativas entre las tres láminas. Los resultados de ambos ensayos pueden deberse a una mayor presencia de pectina.
- Debido a que es posible aumentar de manera significativa las sustancias bioactivas en la lámina de fruit leather, además de mejorar la elasticidad y disminuir el pardeamiento, se sugiere evaluar otras proporciones entre pulpa de manzana y pulpa de physalis deshidratada, con el fin de lograr un producto funcional.
- A pesar de que el tratamiento de secado por liofilización es superior al tratamiento de secado con aire caliente asistido por microondas, en cuanto al mantenimiento de propiedades físicas y sustancias bioactivas respecto al fruto fresco, es recomendable utilizar esta última técnica para producir

aditivos alimentarios de origen 100% natural con buenas propiedades tecnológicas y para la salud, además de efectuarse en un corto tiempo de tratamiento, lo cual le otorga una ventaja significativa frente a la liofilización o el secado convencional.

7. BIBLIOGRAFIA

- Altamirano, c., Milton a. Estudio de la cadena productiva de uvilla (*physalis peruviana l.*) En la sierra norte del ecuador. Proyecto de grado para la obtención del título de ingeniero en agro empresa. Quito, ecuador. Universidad de san francisco de quito, colegio de agricultura, alimentos y nutrición, 2010. 107.
- Alvarado (2017). Study of the stramberry drying process using microwave dryer. Prospect. Vol. 15, No. 1, Enero - Junio 2017, págs. 29-34.
- Alvarado, (2012). Estudio de secado en horno continuo microonda del carbón de bijao-córdoba. Tesis de maestría, universidad nacional de Colombia.
- Aoac 2000 official methof od analysis, vol.2. 17th edition. Washington, dc, usa: association of official analytical chemists.
- Arun, s.m. (1995). Handbook of industrial drying. Vol i, ed. Marcel dekker. Inc., new york.
- Bélanger, jocelyn paré, o. Poon, c. Fairbridgem s. Ng, s. Mutyala, r. Hawkins, "remarks on various applications of microwave energy". Journal of the microwave power and electromagnetic energy, 42 (4), 24-44, 2008.
- Britton, g.; hornero, m. 1997. Carotenoids and colour in fruit and vegetables", in: phytochemistry of fruit and vegetables, tomás-barberán, f. A. And robins, r. J, eds, clarendon press, oxford, pp. 11-27.
- Castro, rodriguez, vargas (2008). Dry gooseberry (*physalis peruviana l*) with pretreatment of osmotic dehydration. Grupo de aprovechamiento de recursos agroalimentarios, programa ingeniería de alimentos universidad de bogotá jorge tadeo lozano. Cra. 4 no. 22-61, bogotá- colombia.
- Cerón, Higuita, Cardona (2010). Antioxidant capacity and total phenolic content
- Cid (2007). Elaboracion y caracterización de láminas de pulpa de frutilla con incorporación de ácido ascórbico y concentrado de granada. Universidad de Chile. Facultad de ciencias agronómicas. Escuela de Agronomía. Santiago, Chile.
- Cortez (2018). Polifenoles totales, vitamina c y actividad antioxidante de láminas deshidratadas de pulpa de arándano (*vaccinium corymbosum e.*) y manzana (*malus domestica*), utilizando goma xantana. Universidad Nacional del centro del Perú. Facultad de ciencias aplicadas. Escuela Academico profesional de ingeniería agroindustrial. Tarma, Perú.
- Covacevich (2017). Efecto de las diferentes condiciones de procesamiento sobre las propiedades fisicoquímicas y termofísicas de láminas de fruta (fruit leather) de tres variedades de manzana (red delicious, granny smith, royal gala). Universidad de la Serena, facultad de ingeniería, departamento de ingeniería en alimentos. La Serena, Chile.
- Darvishi, H. y otros cinco autores, Study of the drying kinetics of pepper, Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 13, 130–138 (2014)

- Delia b. Rodriguez-amaya (1997). Carotenoides y preparación de alimentos: la retención de los carotenoides provitamina A en alimentos preparados, procesados y almacenados
- Della Rocca, (2010). Secado de alimentos por métodos combinados: deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente. Universidad tecnológica de Buenos Aires, escuela de post grado. Buenos Aires, Argentina.
- Fellows, P. (2000) Food processing technology: principles and practice. 2ª ed. Ed. Crc press llc.
- Geankoplis, C. J. 1999. Procesos de transporte y operaciones unitarias. 3ª ed., compañía editorial continental. México.
- Guerra Oporto (2005). Elaboración de Láminas de fruta a partir de arándano (*Vaccinium corymbosum*) c.v. Elliot y Manzana (*Malus pumila* Mill.) c.v Liberty. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias agrarias. Escuela de Ingeniería en Alimentos. Valdivia, Chile.
- Guiné, R. & Barroca, M., 2012. Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). *Food and bioproducts processing*, 90(1), pp.58- 63.
- Hayaloglu, A.A., Karabulut, I., Alpaslan, M., & Kelbaliyev, G. (2007). Mathematical modeling of drying characteristics of strained yogurt in a convective type tray-dryer. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 109–117.
- Henderson, S.M., & Pabis, S. (1961). Grain drying theory. I. Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6(3), 169–174.
- Hua, Liu y Zhang (2010). Freeze-drying of pharmaceutical and food products. CRC Press. Boca raton Boston New York Washington D.C
- Huachuillca (2017). Efecto de liofilización sobre los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en la pulpa de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) Universidad nacional José María Arguedas facultad de ingeniería escuela profesional de ingeniería agroindustrial. Apurímac, Perú.
- Huang, X. G., & Hsieh, F. H. (2005). Physical properties, sensory attributes, and consumer preference of pear fruit leather. *Journal of food science*, 70(3), 177e186.
- Hurtado Vidarte, Rosa del Milagro; Ortiz Robles, Liset Sofía (2018). Componentes fitoquímicos y capacidad antioxidante de cáscaras de frutas de mayor consumo en el Perú. Universidad peruana de ciencias aplicadas facultad de ciencias de la salud carrera de nutrición y dietética. Lima, Perú.
- Iván Palomo G. (1), José Antonio Yuri S. (2), Rodrigo Moore-Carrasco (1), Álvaro Quilodrán P. (2), Amalia Neira E. (2) (2010). Apple Consumption Helps To Prevent Cardiovascular Diseases And Cancer: Epidemiology And Mode Of Action. *Rev Chil Nutr Vol. 37, N°3*

- Jennings, thomas a. 1993. Seminario de liofilización, sociedad internacional de liofilización.
- Juntamay (2010). Evaluacion nutricional de la uvilla deshidratada, a tres temperaturas mediante un deshidratador de bandejas. Escuela superior politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de bioquímica y farmacia. Riobamba, Ecuador.
- Jurado, aparcana, villareal, ramos (2016) valuation of the content of phenolic compounds and antioxidant capacity of the ethanol extracts of the fruits of aguaymanto (*physalis peruviana* l.) From different locations of peru. Rev. Soc. Quím. Perú vol.82 no.3 lima
- Karanthanos, V. T. y V. G. Belessiotis, “Application of a thin-layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits”, Journal of Agricultural Engineering Research, 74(4), 355-361(1999)
- Karelovic (2012). “Influencia del método de congelamiento en el daño microestructural de arándanos liofilizados”: Facultad de ciencias físicas y matemáticas. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A., & Tabil, L.G. (2007). Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. Journal of Food
- King (1987). Perdidas de vitaminas durante el procesamiento de los alimentos. Rev. Chil. Nutr. Vol. 15, (Nº 3), 143- 152.
- Koukouch, A., Ildimam, A., Asbik, M., Sarh, B., Izrar, B., Bah, A., & Ansari, O. (2015). Thermophysical characterization and mathematical modeling of convective solar drying of raw olive pomace. Energy Conversion and Manage, 99, 221–230
- Leyva-Corral, J., Quintero-Ramos, A., Camacho-Dávila, A., de Jesús Zazueta-Morales, J., Aguilar-Palazuelos, E., Ruiz-Gutiérrez, MG, ... de Jesús Ruiz-Anchondo, T. (2016). Estabilidad del compuesto polifenólico y capacidad antioxidante del orujo de manzana en un cereal extruido. LWT - Food Science and Technology, 65, 228–236. doi: 10.1016 / j.lwt.2015.07.073
- Mahecha (2011). Determinación de los parámetros para la simulación matemática del proceso de deshidratación de la uchuva (*physalis peruviana* l.) Universidad nacional de Colombia facultad de ingeniería departamento de ingeniería civil y agrícola programa curricular de maestría en ingeniería agrícola Bogotá, d.c., Colombia.
- Malaga barreda, guevara perez, araujo vargas (2013). Effect of golden berry (*physalis peruviana* l.) Puree process on bioactive compounds and antioxidant capacity. Rev. Soc. Quím. Perú vol.79 no.2 lima
- Marín B. Lemus M. Flores M, Vega G. (2006). The rehydration of dehydrated foods. Rev Chil Nutr Vol. 33, Nº3, Diciembre 2006.
- Marín, t., cortés m., montoya o. Uchuva (*physalis peruviana* l.) Ecotipo colombia, mínimamente procesada inoculada con la cepa nativa lactobacillus plantarum

lpbm10 mediante la técnica de impregnación al vacío. Revista chilena nutrición, 2010. Vol. 37. 461-472.

- Mascheroni, r.h., 2002. Estudios y desarrollos en deshidratación por métodos combinados. IX congreso argentino de ciencia y tecnología de alimentos, buenos aires, 7-9 agosto de 2002. Simposio “avances tecnológicos en los medios tradicionales de conservación”.
- Maskan, a., kaya, s., & maskan, m. (2002). Effect of concentration and drying processes on color change of grape juice and leather (pestil). Journal of food engineering, 54(1), 75-80.
- Mei y, zhao, j yang j, furr. H. 2002. Using edible coating to enhance nutritional and sensory qualities of baby carrots. J food sci 67 (65): 1964-1968.
- Melendez-martinez, vicario, heredia (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. Area de nutrición y bromatología. Facultad de farmacia. Universidad de sevilla- sevilla, españa
- Menéndez, j.a., moreno, a.h. (eds.). (2017). Aplicaciones industriales del calentamiento con energía microondas. Latacunga, ecuador: editorial universidad técnica de cotopaxi, primera edición, pp 315. Isbn: 978-9978- 395-34-9.
- Meredith, r. (1998). Engineers´handbook of industrial microwave heating. The institution of electrical engineers, london, uk. of three fruits from Andean region. Vector 5 (2010) 17 - 26 ISSN 1909 – 7891.
- Midilli, A., Kucuk, H., & Yapar, Z. (2002). A new model for single layer drying. Drying Technology, 20(7), 1503–1513.
- Morán (2011). Caracterización de la aplicación de pre - tratamientos previos al secado y su influencia en la rehidratación de Physalis peruviana deshidratada. Universidad Tecnológica Metropolitana. Facultad de Ciencias Naturales, Matemáticas y del Medio Ambiente. Escuela de Industria Alimentaria. Santiago, Chile.
- Okos, martin r.; narsimhan, ganesan; singh, rakesh k. Y weitnauer, a. C. 1992. Food dehydration. By heldman, dennis r. Handbook of food engineering. Marcel dekker, inc. 501-507.
- Orrego a., carlos e., 2004 apuntes del curso procesamiento de alimentos: línea de profundización, universidad nacional de colombia, facultad de ingeniería y arquitectura – sede manizales. 15-sept-2004 12:00.
- Page, G.E. (1949). Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin-layers. Department of Mechanical Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN.
- Perry h., robert, 1997. Manual del ingeniero químico, 6ta ed., ed. Mc graw hill, bogotá, colombia, tomo 4, pag. 17-14 (op cit ramírez j.s (32))
- Phimpharian c., jangchud, a., jangchud, k., therdthai, n., prinyawiwatkul, w., & no, h. K. (2011). Physico-chemical characteristics and sensory optimisation of a

pineapple leather snack as affected by glucose syrup and pectin concentrations. *International journal of food science and technology*, 46(5), 972-981.

- Ponce, rodriguez (2014). Evaluación del efecto de secado en los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del aguaymanto (*Physalis peruviana* L.). Universidad nacional del centro del Perú facultad de ciencias aplicadas escuela académico profesional de ingeniería agroindustrial. Tarma, Perú.
- Puente, I., pinto-muñoz, c., castro, e., cortés, m. *Physalis peruviana* linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit. *Food research international (review)*, 2011. 8.
- Pujol, vivian; sotolongo, jorge; vega, maribel; pineda, judith y costa, lourdes 1996. Influencia del uso de aditivos en la liofilización del antígeno de superficie recombinante del virus de la hepatitis b. *Biotecnología aplicada, elfos scientiae*, 13:1
- Qing-An Zhang, Yun Song, Xi Wang, Wu-Qi Zhao & Xue-Hui Fan (2016) Mathematical modeling of debittered apricot (*Prunus armeniaca* L.) kernels during thin-layer drying, *CyTA - Journal of Food*, 14:4, 509-517
- Raab, c., & oehler, n. (1999). Making dried fruit leather. Fact sheet 232.
- Rey, I., 1977. International symposium of freeze drying of biological products, washington, d.c. 1976, develop biol. Standard 36, p19 s. Karger, basel. (op cit t.a. jennings (9))
- Roth, I. 1977. Fruits of Angiosperms. Gebruder Borntraeger, Berlin. pp. 675.
- Serna-Cock, Torres-León, Ayala-Aponte (2015). Evaluation of food powders obtained from peels of mango (*Mangifera indica*) as sources of functional ingredients. *Información Tecnológica*, Vol. 26(2), 41-50 (2015).
- Shi, Q., Zheng, Y., & Zhao, Y. (2013). Mathematical modeling on thinlayer heat pump drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices. *Energy Conversion and Manage*, 71, 208–216.
- Shishegarha, F., Makhlof, J. & Ratti, C., 2002. Freeze-drying characteristics of strawberries. *Drying technology*, 20(1), pp.131-45.
- Shofian, N. M., Hamid, A. A., Osman, A., Saari, N., Anwar, F., Pak Dek, M. S., & Hairuddin, M. R. (2011). Effect of Freeze-Drying on the Antioxidant Compounds and Antioxidant Activity of Selected Tropical Fruits. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(7), pp.4678-92.
- Surco-laos, tipiana, torres, valle, panay (2017). Lyophilization effects on chemical composition and antioxidant capacity in pulp of four varieties *mangifera indica*. *Rev. Soc. Quím. Perú* vol.83 no.4 lima.
- Thostenson, e.t., chou, t.-w. (1999). Microwave processing: fundamentals and applications. *Composites part a*, 30, 1055-1071.
- Valencia m, De. Anatomía del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Act biol Colom*. 1985;1(2):63-89.

- Vargas (2015). Efecto de la liofilización sobre propiedades fisicoquímicas y vida útil de cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) en polvo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Administración e Ingeniería. Escuela de Posgrados. Palmira, Colombia.
- Vasco, C., Ruales, J. y Kamal-Eldin, A. (2008). Compuestos fenólicos totales y capacidades antioxidantes de las principales frutas del Ecuador. *Food Chemistry*, 111 (4), 816–823. doi: 10.1016 / j.foodchem.2008.04.054
- Vasco, catalina, jenny ruales, and afaf kamal-eldin 2008 total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from ecuador. *Food chemistry* 111(4): 816–823.
- Vega-Galvez, A; Zura-Bravo, L; Lemus-Mondaca, R; Martinez-Monzo, J; Quispe-Fuentes, I; Puente, L; Di Scala, K (2015). Influence of drying temperature on dietary fibre, rehydration properties, texture and microstructure of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *JOURNAL OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY-MYSORE*
- Yang, Z., & Zhu, E. (2015). Water desorption isotherm and drying characteristics of green soybean. *Journal of Stored Products Research*, 60, 25–30.
- Zhang, x., hayward, d.o. (2006). Applications of microwave dielectric heating in environmentrelated heterogeneous gas-phase catalytic systems. *Inorg. Chim. Acta*, 359, 3421-3433.
- Zlotorzynsky, a. (1995). The application of microwave radiation to analytical and environmental chemistry. *Critical reviews in analytical chemistry*, 25, 43-476.

8. ANEXOS

Anexo 1: Composición proximal physalis

NUTRIENTES	UNIDAD	POR 100 g
Energía	Kcal	53
Carbohidratos	Gramos	11.2
Proteína	Gramos	1.2
Lípidos totales	Gramos	0.7
MINERALES		
Calcio	Mg	9
Hierro	Mg	1
Fosforo	Mg	40
VITAMINAS		
Vitamina C	Mg	11
Tiamina	Mg	0.11
Riboflavina	Mg	0.04
Niacina	Mg	2.8
Vitamina B-12	µg	0
LÍPIDOS		
Ac. Grasos totales	Mg	0
Colesterol	mg	0

(Fuente: USDA, 2019)

Anexo 2: ANOVA para variables respuesta en la optimización

Respuesta Tiempo

Analysis of Variance for TIEMPO

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:TA	0,520833	1	0,520833	12,50	0,0241
B:PM	517,563	1	517,563	12421,50	0,0000
AA	0,75	1	0,75	18,00	0,0132
AB	1,5625	1	1,5625	37,50	0,0036
BB	18,75	1	18,75	450,00	0,0000
Total error	0,166667	4	0,0416667		
Total (corr.)	540,4	9			

R-squared = 99,9692 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 99,9306 percent

Standard Error of Est. = 0,204124

Mean absolute error = 0,1

Durbin-Watson statistic = 2,83333 (P=0,7616)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,5

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in TIEMPO into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 5 effects have P-values less than 0,05, indicating that they are significantly different from zero at the 95,0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 99,9692% of the variability in TIEMPO. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 99,9306%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0,204124. The mean absolute error (MAE) of 0,1 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 5,0%, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 5,0% significance level.

Respuesta Contenido de carotenoides totales

Analysis of Variance for CCT

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:TA	0,327622	1	0,327622	1,65	0,2687
B:PM	27,2868	1	27,2868	137,17	0,0003
AA	1,3967	1	1,3967	7,02	0,0570
AB	0,967538	1	0,967538	4,86	0,0921
BB	1,22719	1	1,22719	6,17	0,0679
Total error	0,795684	4	0,198921		
Total (corr.)	32,3289	9			

R-squared = 97,5388 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 94,4623 percent

Standard Error of Est. = 0,446006

Mean absolute error = 0,179169

Durbin-Watson statistic = 2,78841 (P=0,7356)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,44107

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in CCT into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 1 effects have P-values less than 0,05, indicating that they are significantly different from zero at the 95,0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 97,5388% of the variability in CCT. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 94,4623%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0,446006. The mean absolute error (MAE) of 0,179169 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 5,0%, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 5,0% significance level.

Respuesta Contenido de polifenoles totales

Analysis of Variance for CPT

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:TA	1,77423	1	1,77423	3,94	0,1181
B:PM	94,2852	1	94,2852	209,40	0,0001
AA	0,390483	1	0,390483	0,87	0,4044
AB	3,49727	1	3,49727	7,77	0,0495
BB	5,57559	1	5,57559	12,38	0,0245
Total error	1,80102	4	0,450255		
Total (corr.)	107,066	9			

R-squared = 98,3178 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 96,2152 percent

Standard Error of Est. = 0,671011

Mean absolute error = 0,221505

Durbin-Watson statistic = 3,08555 (P=0,8846)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,658925

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in CPT into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 3 effects have P-values less than 0,05, indicating that they are significantly different from zero at the 95,0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 98,3178% of the variability in CPT. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 96,2152%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0,671011. The mean absolute error (MAE) of 0,221505 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 5,0%, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 5,0% significance level.

Anexo 3: Optimización de múltiples respuestas

	<i>Observed</i>	<i>Observed</i>
<i>Response</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
CCT	15,3665	21,5738
CPT	30,8007	42,3808
TIEMPO	6,0	30,0

	<i>Desirability</i>	<i>Desirability</i>		<i>Weights</i>	<i>Weights</i>	
<i>Response</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Goal</i>	<i>First</i>	<i>Second</i>	<i>Impact</i>
CCT	10,0	35,0	Maximize	1,0		2,0
CPT	26,5	53,0	Maximize	1,0		2,0
TIEMPO	6,0	30,0	Minimize	1,0		3,0

				<i>Predicted</i>	<i>Observed</i>
<i>Row</i>	<i>CCT</i>	<i>CPT</i>	<i>TIEMPO</i>	<i>Desirability</i>	<i>Desirability</i>
1	16,9037	36,565	14,0	0,442552	0,441302
2	15,3665	31,9139	6,5	0,405146	0,405588
3	17,4787	38,1152	14,5	0,462554	0,464011
4	21,0066	42,3808	30,0	0,0811369	0,0
5	21,5738	39,7538	28,0	0,218861	0,226966
6	16,7666	30,8007	6,0	0,408874	0,409454
7	17,9647	37,8813	15,0	0,467249	0,463141
8	17,9675	37,4387	15,0	0,467249	0,457967
9	18,9817	38,9706	15,0	0,467249	0,492
10	17,945	37,2345	15,0	0,467249	0,455141

The StatAdvisor

This procedure helps determine the combination of experimental factors which simultaneously optimize several responses. It does so by maximizing a desirability function. You may set various characteristics of the desirability function through the Analysis Options dialog box. The goals for each of the responses are currently set as:

- CCT - maximize
- CPT - maximize
- TIEMPO - minimize

The output also shows the desirability function evaluated at each point in the design. Among the design points, maximum desirability is achieved at run 7. To find the combination of factors which achieves the overall optimum desirability, select Optimization from the Tabular Options dialog box.

Anexo 4: Análisis ANOVA para deseabilidad observada

Sin excluir AA

Analysis of Variance for D

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:TA	0,00263091	1	0,00263091	0,96	0,3821
B:PM	0,0864583	1	0,0864583	31,63	0,0049
AA	0,000276701	1	0,000276701	0,10	0,7663
AB	0,0133209	1	0,0133209	4,87	0,0919
BB	0,097641	1	0,097641	35,73	0,0039
Total error	0,0109325	4	0,00273311		
Total (corr.)	0,211315	9			

R-squared = 94,8265 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 88,3595 percent

Standard Error of Est. = 0,0522792

Mean absolute error = 0,0295684

Durbin-Watson statistic = 2,81459 (P=0,7509)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,490555

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in D into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 2 effects have P-values less than 0,05, indicating that they are significantly different from zero at the 95,0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 94,8265% of the variability in D. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 88,3595%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0,0522792. The mean absolute error (MAE) of 0,0295684 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 5,0%, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 5,0% significance level.

Al excluir AA

Analysis of Variance for D

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:TA	0,00263091	1	0,00263091	1,17	0,3281
B:PM	0,0864583	1	0,0864583	38,57	0,0016
AB	0,0133209	1	0,0133209	5,94	0,0588
BB	0,0976954	1	0,0976954	43,58	0,0012
Total error	0,0112092	5	0,00224183		
Total (corr.)	0,211315	9			

R-squared = 94,6955 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 90,4519 percent

Standard Error of Est. = 0,047348

Mean absolute error = 0,0287842

Durbin-Watson statistic = 2,80359 (P=0,8799)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,518138

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in D into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 2 effects have P-values less than 0,05, indicating that they are significantly different from zero at the 95,0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 94,6955% of the variability in D. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 90,4519%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0,047348. The mean absolute error (MAE) of 0,0287842 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 5,0%, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 5,0% significance level.

Anexo 5: Parámetros cinéticos de cada modelo para secado por aire caliente asistido con microondas (AC/M) y secado convencional a 60°C.

Modelo	parámetros	AC/M	60°C
HP	a	1,1345±0,0556	1,0913±0,0533
	k	0,1844±0,0147	0,038±0,003
PAGE	k	0,0445±0,0027	0,0055±0,0013
	y	1,6942±0,0317	1,5319±0,0699
MILIDI	a	0,9949±0,0066	0,985±0,0122
	k	0,0397±0,0028	0,0078±0,0017
	b	0,0018±0,0005	0,0017±0,0004
	y	1,7792±0,0385	1,3679±0,0676

Anexo 6: ANOVA y rangos multiples para análisis de pulpa deshidratada

Humedad

ANOVA Table for Humedad by Tratamiento

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	11150,9	2	5575,43	56431,49	0,0000
Within groups	0,5928	6	0,0988		
Total (Corr.)	11151,5	8			

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of Humedad into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 56431,5, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean Humedad from one level of Tratamiento to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

Multiple Range Tests for Humedad by Tratamiento

Method: 95,0 percent LSD

Tratamiento	Count	Mean	Homogeneous Groups
Liofilizado	3	3,59667	X
Optimo M/AC	3	9,93667	X
Fresco	3	81,2333	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
Fresco - Liofilizado	*	77,6367	0,627989
Fresco - Optimo M/AC	*	71,2967	0,627989
Liofilizado - Optimo M/AC	*	-6,34	0,627989

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 3 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95,0% confidence level. At the top of the page, 3 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Contenido de carotenoides totales

ANOVA Table for CCT by Tratamiento

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	10789,2	2	5394,59	1341,83	0,0000
Within groups	24,122	6	4,02033		
Total (Corr.)	10813,3	8			

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of CCT into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 1341,83, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean CCT from one level of Tratamiento to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

Multiple Range Tests for CCT by Tratamiento

Method: 95,0 percent LSD

Tratamiento	Count	Mean	Homogeneous Groups
Optimo M/AC	3	19,1831	X
Liofilizado	3	72,4578	X
Fresco	3	102,969	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
Fresco - Liofilizado	*	30,5112	4,00594
Fresco - Optimo M/AC	*	83,7858	4,00594
Liofilizado - Optimo M/AC	*	53,2747	4,00594

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 3 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95,0% confidence level. At the top of the page, 3 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Contenido de polifenoles totales

ANOVA Table for CPT by Tratamiento

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	838,851	2	419,426	13,02	0,0066
Within groups	193,26	6	32,21		
Total (Corr.)	1032,11	8			

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of CPT into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 13,0216, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean CPT from one level of Tratamiento to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

Multiple Range Tests for CPT by Tratamiento

Method: 95,0 percent LSD

Tratamiento	Count	Mean	Homogeneous Groups
Optimo M/AC	3	38,4032	X
Liofilizado	3	53,9781	X
Fresco	3	61,6015	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
Fresco - Liofilizado		7,62338	11,3388

Fresco - Optimo M/AC	*	23,1982	11,3388
Liofilizado - Optimo M/AC	*	15,5749	11,3388

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 2 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95,0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Capacidad antioxidante

ANOVA Table for CAO by Tratamiento

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	982,811	2	491,406	721,21	0,0000
Within groups	4,08818	6	0,681364		
Total (Corr.)	986,899	8			

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of CAO into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 721,209, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean CAO from one level of Tratamiento to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

Multiple Range Tests for CAO by Tratamiento

Method: 95,0 percent LSD

Tratamiento	Count	Mean	Homogeneous Groups
Optimo M/AC	3	4,43829	X
Liofilizado	3	9,33232	X
Fresco	3	28,644	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
Fresco - Liofilizado	*	19,3117	1,64916
Fresco - Optimo M/AC	*	24,2057	1,64916
Liofilizado - Optimo M/AC	*	4,89403	1,64916

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 3 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95,0% confidence level. At the top of the page, 3 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Contenido de Ácido ascórbico

ANOVA Table for CAA by Tratamiento

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	28128,3	2	14064,1	580,16	0,0000
Within groups	145,451	6	24,2418		
Total (Corr.)	28273,7	8			

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of CAA into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 580,162, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean CAA from one level of Tratamiento to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

Multiple Range Tests for CAA by Tratamiento

Method: 95,0 percent LSD

Tratamiento	Count	Mean	Homogeneous Groups
Optimo M/AC	3	34,7548	X
Liofilizado	3	84,3697	X
Fresco	3	170,097	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
Fresco - Liofilizado	*	85,7272	9,83685
Fresco - Optimo M/AC	*	135,342	9,83685
Liofilizado - Optimo M/AC	*	49,615	9,83685

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 3 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95,0% confidence level. At the top of the page, 3 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Anexo 7: ANOVA para análisis de color de pulpa deshidratada y capacidad de retención de agua

L*

ANOVA Table for L by Tratamiento

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	344,0	2	172,0	34,40	0,0005
Within groups	30,0	6	5,0		
Total (Corr.)	374,0	8			

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of L into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 34,4, is a ratio of the between-group estimate to the within-group

estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean L from one level of Tratamiento to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

Multiple Range Tests for L by Tratamiento

Method: 95,0 percent LSD

Tratamiento	Count	Mean	Homogeneous Groups
Optimo M/AC	3	54,6667	X
Fresco	3	66,6667	X
Liofilizado	3	68,6667	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
Fresco - Liofilizado		-2,0	4,46744
Fresco - Optimo M/AC	*	12,0	4,46744
Liofilizado - Optimo M/AC	*	14,0	4,46744

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 2 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95,0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

a*

ANOVA Table for a by Tratamiento

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	841,556	2	420,778	222,76	0,0000
Within groups	11,3333	6	1,88889		
Total (Corr.)	852,889	8			

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of a into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 222,765, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean a from one level of Tratamiento to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

Multiple Range Tests for a by Tratamiento

Method: 95,0 percent LSD

Tratamiento	Count	Mean	Homogeneous Groups
Liofilizado	3	5,0	X
Fresco	3	9,33333	X
Optimo M/AC	3	27,3333	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
Fresco - Liofilizado	*	4,33333	2,74585
Fresco - Optimo M/AC	*	-18,0	2,74585
Liofilizado - Optimo M/AC	*	-22,3333	2,74585

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 3 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95,0% confidence level. At the top of the page, 3 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

b*

ANOVA Table for b by Tratamiento

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	123,556	2	61,7778	4,79	0,0570
Within groups	77,3333	6	12,8889		
Total (Corr.)	200,889	8			

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of b into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 4,7931, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is greater than or equal to 0,05, there is not a statistically significant difference between the mean b from one level of Tratamiento to another at the 95,0% confidence level.

Multiple Range Tests for b by Tratamiento

Method: 95,0 percent LSD

Tratamiento	Count	Mean	Homogeneous Groups
Optimo M/AC	3	59,0	X
Fresco	3	65,6667	XX
Liofilizado	3	67,6667	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
Fresco - Liofilizado		-2,0	7,17268
Fresco - Optimo M/AC		6,66667	7,17268
Liofilizado - Optimo M/AC	*	8,66667	7,17268

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 1 pair, indicating that this pair shows a statistically significant difference at the 95,0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

C*

ANOVA Table for C by Tratamiento

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	11,8477	2	5,92387	0,48	0,6422
Within groups	74,4729	6	12,4122		
Total (Corr.)	86,3207	8			

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of C into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 0,477264, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is greater than or equal to 0,05, there is not a statistically significant difference between the mean C from one level of Tratamiento to another at the 95,0% confidence level.

Multiple Range Tests for C by Tratamiento

Method: 95,0 percent LSD

Tratamiento	Count	Mean	Homogeneous Groups
Optimo M/AC	3	65,0454	X
Fresco	3	66,3394	X
Liofilizado	3	67,853	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
Fresco - Liofilizado		-1,51361	7,03878
Fresco - Optimo M/AC		1,29395	7,03878
Liofilizado - Optimo M/AC		2,80756	7,03878

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. There are no statistically significant differences between any pair of means at the 95,0% confidence level. At the top of the page, one homogenous group is identified by a column of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

CRA

ANOVA Table for diferencias significativas tes.CRA by diferencias significativas tes.Tratamiento

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	4,21682	1	4,21682	77,75	0,0009
Within groups	0,216933	4	0,0542333		
Total (Corr.)	4,43375	5			

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of diferencias significativas tes.CRA into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 77,7532, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean diferencias significativas tes.CRA from one level of diferencias significativas tes.Tratamiento to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

Multiple Range Tests for diferencias significativas tes.CRA by diferencias significativas tes.Tratamiento

Method: 95,0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
Optimo M/AC	3	4,78667	X
Liofilizado	3	6,46333	X

<i>Contrast</i>	<i>Sig.</i>	<i>Difference</i>	<i>+/- Limits</i>
Liofilizado - Optimo M/AC	*	1,67667	0,527932

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 1 pair, indicating that this pair shows a statistically significant difference at the 95,0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Anexo 8: ANOVA y rangos multiples para análisis fruit leather

Contenido de carotenoides totales

ANOVA Table for CCT by Tratamiento

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Between groups	70,4559	2	35,2279	73,75	0,0001
Within groups	2,86596	6	0,477661		
Total (Corr.)	73,3218	8			

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of CCT into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 73,751, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean CCT from one level of Tratamiento to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

Multiple Range Tests for CCT by Tratamiento

Method: 95,0 percent LSD

<i>Tratamiento</i>	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
SPH	3	3,03054	X
PHM	3	5,33057	X
PHL	3	9,77165	X

<i>Contrast</i>	<i>Sig.</i>	<i>Difference</i>	<i>+/- Limits</i>
PHL - PHM	*	4,44108	1,38081
PHL - SPH	*	6,74111	1,38081
PHM - SPH	*	2,30003	1,38081

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 3 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95,0% confidence level. At the top of the page, 3 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method

currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Contenido de polifenoles totales

ANOVA Table for CPT by Tratamiento

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	7591,17	2	3795,58	10,74	0,0104
Within groups	2121,11	6	353,518		
Total (Corr.)	9712,28	8			

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of CPT into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 10,7366, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean CPT from one level of Tratamiento to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

Multiple Range Tests for CPT by Tratamiento

Method: 95,0 percent LSD

Tratamiento	Count	Mean	Homogeneous Groups
SPH	3	152,074	X
PHM	3	161,661	X
PHL	3	217,914	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
PHL - PHM	*	56,2524	37,5647
PHL - SPH	*	65,8401	37,5647
PHM - SPH		9,58766	37,5647

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 2 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95,0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Capacidad antioxidante

ANOVA Table for CAO by Tratamiento

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	40,8051	2	20,4025	467,38	0,0000
Within groups	0,26192	6	0,0436533		
Total (Corr.)	41,067	8			

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of CAO into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 467,377, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean CAO from one level of Tratamiento to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

Multiple Range Tests for CAO by Tratamiento

Method: 95,0 percent LSD

Tratamiento	Count	Mean	Homogeneous Groups
SPH	3	12,6021	X
PHM	3	14,1901	X
PHL	3	17,6986	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
PHL - PHM	*	3,50841	0,417429
PHL - SPH	*	5,09648	0,417429
PHM - SPH	*	1,58807	0,417429

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 3 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95,0% confidence level. At the top of the page, 3 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Contenido de Ácido ascórbico

ANOVA Table for CAA by Tratamiento

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	591,073	2	295,536	55,38	0,0001
Within groups	32,0181	6	5,33635		
Total (Corr.)	623,091	8			

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of CAA into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 55,3818, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean CAA from one level of Tratamiento to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

Multiple Range Tests for CAA by Tratamiento

Method: 95,0 percent LSD

Tratamiento	Count	Mean	Homogeneous Groups
SPH	3	7,86001	X
PHM	3	18,8597	X
PHL	3	27,6704	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
----------	------	------------	------------

PHL - PHM	*	8,81069	4,61526
PHL - SPH	*	19,8104	4,61526
PHM - SPH	*	10,9997	4,61526

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 3 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95,0% confidence level. At the top of the page, 3 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Anexo 9: ANOVA para análisis de color de fruit leather

L*

ANOVA Table for L by Tratamiento

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	1219,56	2	609,778	19,88	0,0023
Within groups	184,0	6	30,6667		
Total (Corr.)	1403,56	8			

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of L into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 19,8841, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean L from one level of Tratamiento to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

Multiple Range Tests for L by Tratamiento

Method: 95,0 percent LSD

Tratamiento	Count	Mean	Homogeneous Groups
SPH	3	39,3333	X
PHL	3	63,3333	X
PHM	3	64,6667	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
PHL - PHM		-1,33333	11,0639
PHL - SPH	*	24,0	11,0639
PHM - SPH	*	25,3333	11,0639

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 2 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95,0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

a*

ANOVA Table for a by Tratamiento

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	112,889	2	56,4444	1,18	0,3686
Within groups	286,0	6	47,6667		
Total (Corr.)	398,889	8			

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of a into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 1,18415, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is greater than or equal to 0,05, there is not a statistically significant difference between the mean a from one level of Tratamiento to another at the 95,0% confidence level.

Multiple Range Tests for a by Tratamiento

Method: 95,0 percent LSD

Tratamiento	Count	Mean	Homogeneous Groups
PHL	3	10,6667	X
SPH	3	14,6667	X
PHM	3	19,3333	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
PHL - PHM		-8,66667	13,7937
PHL - SPH		-4,0	13,7937
PHM - SPH		4,66667	13,7937

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. There are no statistically significant differences between any pair of means at the 95,0% confidence level. At the top of the page, one homogenous group is identified by a column of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

b*

ANOVA Table for b by Tratamiento

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	664,222	2	332,111	5,58	0,0428
Within groups	357,333	6	59,5556		
Total (Corr.)	1021,56	8			

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of b into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 5,57649, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean b from one level of Tratamiento to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

Multiple Range Tests for b by Tratamiento

Method: 95,0 percent LSD

Tratamiento	Count	Mean	Homogeneous Groups
-------------	-------	------	--------------------

SPH	3	37,6667	X
PHL	3	47,0	XX
PHM	3	58,6667	X

<i>Contrast</i>	<i>Sig.</i>	<i>Difference</i>	<i>+/- Limits</i>
PHL - PHM		-11,6667	15,4182
PHL - SPH		9,33333	15,4182
PHM - SPH	*	21,0	15,4182

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 1 pair, indicating that this pair shows a statistically significant difference at the 95,0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

C*

ANOVA Table for C by Tratamiento

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Between groups	732,84	2	366,42	6,54	0,0311
Within groups	336,356	6	56,0593		
Total (Corr.)	1069,2	8			

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of C into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 6,53629, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean C from one level of Tratamiento to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

Multiple Range Tests for C by Tratamiento

Method: 95,0 percent LSD

<i>Tratamiento</i>	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
SPH	3	40,4524	X
PHL	3	48,5347	XX
PHM	3	62,31	X

<i>Contrast</i>	<i>Sig.</i>	<i>Difference</i>	<i>+/- Limits</i>
PHL - PHM		-13,7754	14,9588
PHL - SPH		8,08227	14,9588
PHM - SPH	*	21,8576	14,9588

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 1 pair, indicating that this pair shows a statistically significant difference at the 95,0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With

this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Anexo 10: ANOVA para análisis de textura en fruit leather

Resistencia a la tracción

ANOVA Table for ANALISIS FRUIT LEATHER.Tracción by ANALISIS FRUIT LEATHER.Tratamiento

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0,759686	2	0,379843	23,69	0,0014
Within groups	0,0962045	6	0,0160341		
Total (Corr.)	0,85589	8			

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of ANALISIS FRUIT LEATHER.Tracción into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 23,6897, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean ANALISIS FRUIT LEATHER.Tracción from one level of ANALISIS FRUIT LEATHER.Tratamiento to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

Multiple Range Tests for ANALISIS FRUIT LEATHER.Tracción by ANALISIS FRUIT LEATHER.Tratamiento

Method: 95,0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
SPH	3	0,855967	X
PHL	3	1,37767	X
PHM	3	1,536	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
PHL - PHM		-0,158333	0,252986
PHL - SPH	*	0,5217	0,252986
PHM - SPH	*	0,680033	0,252986

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 2 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95,0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Fuerza de punción

ANOVA Table for ANALISIS FRUIT LEATHER.Punción by ANALISIS FRUIT LEATHER.Tratamiento

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	13,823	2	6,91152	81,56	0,0000
Within groups	0,508475	6	0,0847459		
Total (Corr.)	14,3315	8			

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variance of ANALISIS FRUIT LEATHER.Punción into two components: a between-group component and a within-group component. The F-ratio, which in this case equals 81,5559, is a ratio of the between-group estimate to the within-group estimate. Since the P-value of the F-test is less than 0,05, there is a statistically significant difference between the mean ANALISIS FRUIT LEATHER.Punción from one level of ANALISIS FRUIT LEATHER.Tratamiento to another at the 95,0% confidence level. To determine which means are significantly different from which others, select Multiple Range Tests from the list of Tabular Options.

Multiple Range Tests for ANALISIS FRUIT LEATHER.Punción by ANALISIS FRUIT LEATHER.Tratamiento

Method: 95,0 percent LSD

Level	Count	Mean	Homogeneous Groups
PHL	3	1,35867	X
SPH	3	2,66567	X
PHM	3	4,385	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
PHL - PHM	*	-3,02633	0,581612
PHL - SPH	*	-1,307	0,581612
PHM - SPH	*	1,71933	0,581612

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 3 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95,0% confidence level. At the top of the page, 3 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.