

Physicochemical and sensory properties of precooked oca flour (*oxalis tuberosa*): A response surface improvement study

Mejía Pardo, Patricia Isabel, Maestro¹; García Zare, Elmis Jonatan, Doctor¹; Rodríguez Paredes, Noelia Patricia, Maestro¹; Zambrano Paucar, Icei Beck, Bachiller¹; Tejada Chavez, Luis Miguel, Maestro¹

¹Universidad César Vallejo, Perú, pamejiap@ucvvirtual.edu.pe, ejgarcia@ucv.edu.pe, nrodriguezp@ucv.edu.pe, izambrano@ucvvirtual.edu.pe, ltejadac@ucv.edu.pe

Abstract– *The research focuses on the dehydration of precooked goose, Flava variety, in response to the demands of the market that seeks products of quick preparation and high nutritional value comparable to fresh products. The study was carried out in a tray dryer, evaluating the operating conditions (temperatures of 60, 70, and 80°C and air velocities of 2.3, 3.4, and 4.5m/s) on the Rehydration Capacity and Net Color Difference using the Response Surface Methodology. A significant effect of the operating conditions on the response variables was found. The optimal conditions for rehydration capacity were 64.80°C and 3.28m/s, preserving the internal cellular structure for complete rehydration. For the net color difference, it was identified that at 60.38°C and 3.90m/s. These results are relevant to obtain a dehydrated product according to physicochemical and INDECOPI standards, maintaining sensory characteristics close to the fresh product.*

Keywords-- *Rehydration capacity, net color difference, response surface methodology.*

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Propiedades fisico-químicas y sensoriales de harina precocida de oca (*oxalis tuberosa*): un estudio de mejoramiento con superficie respuesta

Mejía Pardo, Patricia Isabel, Maestro¹; García Zare, Elmis Jonatan, Doctor¹; Rodríguez Paredes, Noelia Patricia, Maestro¹; Zambrano Paucar, Icei Beck, Bachiller¹; Tejada Chavez, Luis Miguel, Maestro¹

¹Universidad César Vallejo, Perú, pamejiap@ucvvirtual.edu.pe, ejgarcia@ucv.edu.pe, nrodriguezp@ucv.edu.pe, izambrano@ucvvirtual.edu.pe, ltejadac@ucv.edu.pe

Resumen— La investigación se centra en la deshidratación de la oca precocida, variedad Flava, en respuesta a las demandas del mercado que busca productos de preparación rápida y alto valor nutritivo comparables con los productos frescos. El estudio se desarrolló utilizando un secador de bandejas, donde se evaluaron diversas condiciones de operación, incluyendo temperaturas en los rangos de 60, 70 y 80°C y velocidades de aire de 2.3, 3.4 y 4.5 m/s. Se empleó la Metodología de Superficie de Respuesta para examinar el impacto de estas variables en dos aspectos cruciales: la Capacidad de Rehidratación y la Diferencia Neta de Color. Los resultados revelaron un efecto significativo de las condiciones operativas en ambas variables de respuesta. Las condiciones óptimas para la capacidad de rehidratación se encontraron en una temperatura de 64.80°C y una velocidad de aire de 3.28 m/s, lo que contribuye a preservar la estructura celular interna del producto, facilitando una rehidratación completa y eficiente. Este hallazgo ofrece información valiosa para la optimización de los procesos de deshidratación de la oca, permitiendo alcanzar niveles óptimos de calidad y rendimiento en el producto final. Para la diferencia neta de color, se identificó que a 60.38°C y 3.90 m/s. Estos resultados tienen relevancia para obtener un producto deshidratado conforme a estándares fisicoquímicos e INDECOPI, manteniendo características sensoriales cercanas al producto fresco.

Palabras claves— Capacidad de rehidratación, diferencia neta de color, metodología superficie de respuesta.

I. INTRODUCCIÓN

Oxalis tuberosa es un cultivo de tubérculo andino octoploide llamado Oca, perteneciente al género *Oxalis*, se distribuye por todo el mundo, con al menos 800 especies, la mayoría de las cuales se encuentran en el hemisferio sur, principalmente en América y Sudáfrica [1]. La oca es cultivada entre 2800 y 4000 msnm, resistente a climas fríos, con fotoperiodo óptimo de 9 horas, prosperando en suelos con pH de 5,3 a 7,8, resistente a plagas, por lo que tienen mayor adaptación a entornos a los que otros cultivos no son capaces de sobrevivir [2,3].

El contenido de nutrientes de la oca depende según su variedad. El contenido aproximadamente de proteína es del 9%, de almidón 13,2%, porcentaje considerablemente alto; presenta alta concentración de minerales y ácidos orgánicos; todo esto facilita a su procesamiento industrial: cocido, secado o deshidratación, extracción del alcohol mediante la fermentación entre otros procesos. Así mismo, este tubérculo es resistente a los

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

patógenos, esto se debe principalmente a la alta concentración de ácido oxálico y una proteína conocida como Ocatina [4,5]. Sin embargo, a pesar que cuenta con suficientes propiedades agroindustriales y medicinales, y adaptabilidad a condiciones ambientales extremas; todavía no es un potencial económico por causas como: comercialización dificultosa, consumo limitado (generalmente por comunidades andinas), demanda mucho tiempo el proceso de cocción y las ganancias económicas no son rentables [6,7].

En el Perú, cultivos de papa, olluco y mashua han alcanzado un grado de desarrollo alto. No obstante, la oca no tiene el mismo desarrollo y esto es por la dificultad en la cosecha, ya que este alimento es estacional, por lo que se debe almacenar durante cuatro meses aproximadamente, generando estancamiento en la comercialización y altas probabilidades de putrefacción del alimento [8].

La oca se puede convertir en un producto prometedor y en una gran oportunidad económica para las comunidades andinas y pueblos en donde se cultiva este alimento, aplicando tecnologías en la que no sólo se prolongue el tiempo de vida del alimento, sino que conserve sus propiedades fisicoquímicas. El proceso de deshidratación permite preservar compuestos termosensibles, conservar propiedades organolépticas y valor nutricional de un alimento, por con siguiente resulta ser eficiente para la obtención de un producto con características similares a las originales [9,10].

A partir de lo expuesto, se podría afirmar que la oca constituiría una opción alimentaria idónea para someterla a distintos procedimientos de deshidratación, con el objetivo de obtener un producto como harina precocida que mantenga características sensoriales muy similares a las originales.

Basado en esta premisa, en esta investigación se probará experimentalmente el efecto de variar temperaturas a 60°, 70° y 80°, además de combinar su efecto con la variación de velocidad de aire de 2.3 m/s, 3.4 m/s y 4.5 m/s en el proceso de rehidratación y otros parámetros importantes. Por consiguiente, nuestro planteamiento de investigación fue ¿Cuál es el efecto de la temperatura y la velocidad de aire en la capacidad de rehidratación, diferencia de color y percepción sensorial de la harina precocida de oca (*Oxalis tuberosa*)?

La oca se puede convertir en un producto prometedor y en una gran oportunidad económica para las comunidades andinas y pueblos en donde se cultiva este alimento, aplicando tecnologías en la que no sólo se prolongue el tiempo de vida del alimento,

sino que conserve sus propiedades fisicoquímicas. El proceso de deshidratación permite conservar compuestos termosensibles, propiedades organolépticas y valor nutricional de un alimento [9,10].

Por lo descrito, esta investigación se enfocó en evaluar la influencia de la temperatura en niveles de 60, 70 y 80°C y la velocidad del aire a 2.3; 3.4 y 4.5 m/s sobre la capacidad de rehidratación y la diferencia neta de color de la harina de oca obtenida.

II. MARCO TEÓRICO

En la Tabla 1 se presentan investigaciones similares realizadas a nivel internacional y nacional con sus respectivos hallazgos y conclusiones.

Tabla 1: Revisión literaria de artículos

Lugar	Objetivo	Resultado	Conclusión
Cuba [11]	Obtención de harina a partillas de las semillas de Moringa con fines de consumo humano con una deshidratación a 42°C y nivel de humedad al 1%.	Composición de la harina: 37,23% de proteína vegetal; 15,75% de fibra vegetal y 20.23% de almidón.	Este proceso de deshidratación es efectivo para la conservación de las propiedades de las semillas de moringa.
China [12]	Comparación de las características fisicoquímicas de muestras de papa fresca deshidratadas a temperaturas de 50 y 90°C.	A una temperatura de 90°C destruye la zona de cristalización del alimento y aumenta la oxidación de lípidos	A temperaturas bajas se conserva la calidad y sabor de la harina de papa, favoreciendo el grado de gelatinización.
Brasil [13]	Obtención de harina y extracción de antocianinas de arándanos a temperaturas de deshidratación entre 53 y 67°C y tiempos entre 43,18 y 48,42 horas.	Con la técnica de Superficie de Respuesta se obtuvo como parámetros óptimos una temperatura de 53°C y 46 horas.	A temperaturas bajas y un mayor tiempo en la deshidratación, se conserva mejor las propiedades de la harina de arándano.
Perú [14]	Obtención de harina de papa aérea a una temperatura de deshidratación de 60 a 80°C	Se reportó alto contenido de amilosa (23,30%), lo cual favorece el grado de gelatinización	A temperaturas bajas se conserva las propiedades de harina de papa aérea.

Por otro lado, tenemos las siguientes definiciones teóricas:

A. Secado

El proceso de secado o deshidratación, una técnica ampliamente empleada en la agroindustria, implica la reducción significativa del contenido de agua en el producto final. Esta técnica se implementa a través de la evaporación del agua mediante el uso de aire caliente, el cual transfiere el calor necesario para la evaporación al producto. El propósito principal de este proceso es reducir al mínimo la actividad bioquímica interna y contrarrestar la proliferación de microorganismos, lo que permite prolongar la vida útil del producto y facilitar su almacenamiento en condiciones óptimas durante períodos extendidos. Este método de deshidratación es esencial en la industria alimentaria para preservar la calidad y seguridad de los alimentos, garantizando que permanezcan frescos y aptos para el consumo durante más tiempo. Este método no solo contribuye a preservar la calidad del producto, sino que también desempeña un papel fundamental en la prevención de la degradación y el deterioro, asegurando la disponibilidad sostenible de alimentos a lo largo del tiempo [15].

B. Efectos del proceso de secado en las propiedades de los alimentos:

- Orientación del constituyente: Aunque los alimentos suelen ser homogéneos en su composición, la velocidad de secado puede influir en la orientación de las capas en el alimento que está siendo sometido al proceso. Esta variación puede tener implicaciones en la textura y consistencia finales del producto deshidratado, ya que capas orientadas de manera específica podrían afectar la uniformidad de la deshidratación.
- Concentración de soluto: La presencia de solutos en la solución tiene un impacto directo en el proceso de secado. Aumentar el punto de ebullición tiene como efecto ralentizar el proceso de secado en alimentos con mayor concentración de solutos. Este fenómeno resulta determinante en la reducción general de la velocidad de deshidratación, siendo esencial para comprender y regular los tiempos requeridos en la obtención de productos deshidratados de alta calidad.
- Ligación del agua: La facilidad con la que se extrae el agua durante el secado varía según su forma de existencia en el alimento. El agua libre es más fácil de remover en comparación con el agua presente en geles coloidales, como los formados por almidón de trigo, pectina u otras gomas. La presencia de agua ligada representa un desafío adicional en términos de remoción durante el proceso de deshidratación.
- Estructura celular: La permeabilidad al agua de los tejidos celulares vivos es diferente de la de los tejidos muertos. Cuando la planta o el animal está en estado muerto, o si el material ha sido sometido a procesos como blanqueo o cocción, los tejidos se vuelven más permeables. Este conocimiento resulta fundamental para comprender las razones detrás de fenómenos como la rápida deshidratación de alimentos cocidos, como vegetales o carnes, en comparación con sus contrapartes frescas. Comprender estos procesos es esencial para evitar que dichos alimentos se sequen de manera excesiva, manteniendo su textura y apariencia original. Es decir, se busca evitar que se endurezcan o se encojan en exceso durante el proceso de cocción o

almacenamiento. Esta comprensión profunda de los principios de deshidratación es crucial para garantizar la calidad y la frescura de los productos alimenticios, así como para optimizar los procesos de preparación y conservación en la industria culinaria.

- Bouquet y Aroma: Además de la evaporación del agua, la aplicación de calor durante la deshidratación también ocasiona la pérdida de ciertos componentes volátiles del alimento, impactando en su bouquet y aromas distintivos. Comprender este aspecto resulta crucial para conservar las características organolépticas deseadas en el producto final y asegurar su aceptación por parte del consumidor.

C. Tipos de secado

- Deshidratación Osmótica:

Es un método de secado que pretende eliminar parcialmente el agua de los tejidos del alimento por sumersión en una solución hipertónica manteniendo la calidad del mismo (Rastogi, Raghavarao, Niranjana, & Knorr, 2002). La diferencia de la presión osmótica entre el alimento y la solución permite la difusión del agua desde los tejidos del alimento a la solución. Generalmente se usan soluciones concentradas de sal, azúcar o una mezcla de ellos.

Es conveniente mencionar que en esta difusión de agua se genera pérdida de solutos solubles del alimento, pero también ganancia de ellos desde la solución. Por lo general, este método de secado no logra estabilizar el alimento en su totalidad. Por consiguiente, se necesita aplicar posteriores procesos como congelación o liofilización, entre otros.

- Deshidratación por Aire caliente:

Es un método de secado en la que se elimina el agua del alimento por medio de un flujo de aire caliente. En este método se observa que el calor se transfiere al sólido húmedo con el fin de evaporar el agua y este vapor se mueve dentro del sólido y sale a la superficie del mismo [16].

Además, se debe tener en cuenta factores que regulan la velocidad de secado como: la velocidad de aire que incrementa la trasmisión de calor y de masa, reduciendo el tiempo de secado (en la primera parte del proceso) [17] y la temperatura que, al aumentar, aumenta la velocidad de secado y disminuye el tiempo [18]. Resaltar que a temperaturas mayores a 60°C se da la Reacción de Maillard generando pérdidas de nutrientes termosensibles y en muchos casos pardeamiento no enzimático del alimento.

Otro factor es la influencia del tejido vegetal ya que, la evolución del secado depende del estado de madurez del alimento. La velocidad y el tiempo de secado están influenciados por este factor, además del tamaño y geometría de la partícula [19].

- Deshidratación por Microondas:

Las microondas pertenecen a la gama de ondas del espectro electromagnético y su frecuencia se sitúa entre la de los rayos infrarrojos y la de las ondas de radio y televisión. Usualmente, en este tipo de mecanismos, se manejan frecuencias de 300 MHz a 300 GHz. Calentar y secar con energía microondas es

totalmente diferente al calentamiento y secado convencional [20]. En este tipo de secado los campos eléctricos interactúan con las moléculas de agua e iones en el alimento, provocando calor en forma volumétrica en el interior del mismo. Una molécula de agua es un dipolo eléctrico que, cuando está en un campo eléctrico oscilante de elevada frecuencia, los dipolos se reorientan con cada cambio de polaridad. Así se origina la fricción dentro del alimento que hace posible que el mismo se caliente.

D. Secadores de bandejas y compartimientos:

Este secador específico utiliza la transferencia de calor mediante convección y se aplica en el proceso de deshidratación de alimentos en forma laminar y en pasta. El medio de transferencia de calor es el aire caliente, que circula sobre la superficie del material sólido. Además, el secador está equipado con un ventilador que recircula el aire calentado junto con vapor. Esta configuración permite un secado eficiente y uniforme de los alimentos, garantizando que se alcancen los niveles de humedad deseados y se mantenga la calidad del producto final [21]. La combinación de la convección y la recirculación del aire contribuye a optimizar el proceso de secado, proporcionando resultados consistentes y de alta calidad en la industria alimentaria. Existen secadores con bandejas fijas que se cargan y se empujan dentro del secador y otros en el que se ponen sobre los vestidores fijados dentro del secador [22]. En cuanto a la forma del material (alimento) para su tratamiento, puede ser en forma de pasta, cubo, esferas u otros. Sin embargo, hay que resaltar que en el periodo de velocidad de aire constante no influye la forma del material porque sólo depende de las condiciones de su superficie. En cambio, durante la fase de disminución de velocidad, la velocidad de deshidratación se encuentra vinculada a la migración del agua hacia la superficie, donde ocurre la evaporación. Por lo tanto, un aumento en el grosor del material resultará en una reducción de la velocidad de deshidratación [23, 24].

E. Características botánicas y descriptivas de la oca:

Esta planta herbácea presenta tubérculos que exhiben longitudes que oscilan entre 5 y 15 centímetros, mostrando una notable diversidad en sus formas. Conforme a las descripciones morfológicas convencionales de la oca, se detecta una variante adicional que se distingue por su forma alargada, observación que ha sido confirmada en las colecciones de germoplasma de oca en Ecuador, Perú y Bolivia. A pesar de que los descriptores estándar no proporcionan detalles específicos sobre las características de los ojos, es posible que esto se deba a que dicho rasgo no se considera determinante en la variabilidad de este cultivo. No obstante, es crucial destacar que los ojos de los tubérculos presentan una diversidad considerable, manifestándose en orientaciones horizontales, curvaturas variables, longitudes diversas, así como en proximidades o separaciones notables y profundidades variables. Además, las brácteas que recubren los ojos pueden exhibir una amplia gama de características, desde ser anchas y cortas hasta casi

inexistentes, o bien ser tanto amplias como estrechas, pero considerablemente largas. Estos hallazgos resaltan la riqueza de la variabilidad morfológica presente en la oca, proporcionando una comprensión más completa de la diversidad genética de este cultivo en las regiones de Ecuador, Perú y Bolivia [25].

Tabla 1: Clasificación taxonómica y características morfológicas de la oca.

Reino	Vegetal
Clase y Sub clase	Dicotiledonea y Dicotyledoneae
Orden y género	Geraniales oxalis
Familia	Oxalidaceae (oxalis)

F. Perfil nutricional y composición química de la oca.

La oca presenta una elevada cantidad de vitamina C y una notable densidad energética atribuible a su contenido de carbohidratos, aunque las proporciones de proteínas son limitadas [20, 21].

Tabla 2: Composición nutricional por cada 100 gramos de parte comestible.

Contenido del valor nutritivo en 100g de proporción comestible	Oca fresca
Presencia de humedad	82.412
Calorías contenidas	67
Cantidad de proteínas	0.721
Extracto etéreo	0
Total de carbohidratos	16.121
Fibra	0.53
Cenizas	0.81

Tabla 3: Contenido energético, minerales y vitaminas presentes en 100 gramos de oca en su estado húmedo.

Energía (Kcal) = 61.24	
Minerales	Ca = 5.02
	P = 39.01
	H= 0.924
Vitaminas	B1 = 0.071 mg
	Niacina = 0.422 mg
	C = 38.421 mg

G. Método de superficie de respuesta

La Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) se constituye como un conjunto de herramientas matemáticas y estadísticas diseñadas meticulosamente para modelar y examinar escenarios en los cuales una variable principal es afectada por múltiples variables independientes. La esencia fundamental de la MSR radica en la búsqueda y consecución de la optimización de esta variable primordial, lo cual se traduce en la identificación precisa de las condiciones operativas ideales del sistema. A través de la MSR, se lleva a cabo un análisis detallado y sistemático que permite comprender cómo los cambios en las

variables independientes impactan en la variable de interés, así como identificar los ajustes óptimos que maximizan o minimizan dicha variable, según los objetivos específicos del estudio. Esta metodología se convierte en una herramienta invaluable en diversos campos, desde la ingeniería y la química hasta la agricultura y la medicina, proporcionando una guía rigurosa y científica para la optimización de procesos y la toma de decisiones fundamentadas en datos [27,28].

III. Metodología

Esta investigación adoptó un enfoque aplicado, con diseño experimental, específicamente de tipo factorial de corte transversal. La muestra consistió en 0.5 kg de variedad de oca flava, seleccionadas de manera aleatoria en establecimientos de tubérculos de un mercado peruano. Para examinar minuciosamente el proceso de deshidratación de la harina precocida de oca, se tomaron en cuenta como variables independientes los rangos de temperatura, variando desde 60 hasta 80°C, así como las velocidades del aire, oscilando entre 2.3 y 4.5 m/s. Durante este análisis, se mantuvo constante la altura del lecho de harina en 0.5 cm. Al establecer estos parámetros, se buscó explorar cómo las variaciones en la temperatura y la velocidad del aire influyen en el proceso de deshidratación, manteniendo una condición constante en la altura del lecho para asegurar la uniformidad en las condiciones experimentales. Este enfoque experimental detallado permite obtener una comprensión más completa de los efectos de estos factores en el producto final, contribuyendo así a la optimización de los procesos de producción de harina precocida de oca. Se seleccionaron dos variables dependientes para examinar el efecto del proceso: la capacidad de rehidratación y la variación neta de color. Estas variables fueron evaluadas utilizando el método de superficie de respuesta, el cual permite explorar de manera detallada cómo los cambios en las variables independientes afectan estas dos características clave del producto final. La capacidad de rehidratación se refiere a la capacidad del producto deshidratado para absorber agua y recuperar su forma y textura originales al ser rehidratado. Por otro lado, la variación neta de color representa los cambios en el color del producto después del proceso de deshidratación y puede ser un indicador importante de la calidad y aceptabilidad del producto para los consumidores. Al emplear el método de superficie de respuesta, se puede obtener una comprensión más profunda de cómo ajustar las variables del proceso para optimizar estas características, lo que contribuye a mejorar la calidad y la aceptación del producto final en el mercado. Este enfoque analítico proporciona una herramienta poderosa para el diseño y la optimización de procesos en la industria alimentaria, permitiendo a los investigadores y productores tomar decisiones informadas y estratégicas para mejorar la calidad y la competitividad de sus productos.

IV. Resultados

Tabla 4: Indicadores descriptivos de los factores y variables de respuesta.

Factor	Ud.	Mínimo (-1)	Máximo (+1)	Prom	D.S.
A: Temp	°C	60	80	70	7.952
B: veloc.	m/s	2.3	4.5	3.4	0.871
Respuesta	Ud.	Mínimo	Máximo	Prom	D.S.
Y ₁ : Capac.	g.m.c/g .m.s	7.832	10.921	9.741	0.981
Y ₂ : Difer.	Abs.	7.621	40.242	23.88 2	10.123

Nota: Ud: Unidad, Prom: promedio, D.S: Desviación estándar

En la tabla 5 y 6 se comprobó que las variables temperatura y velocidad, junto con la interacción de ambas son significativas (p-valor<0.05). Asimismo, los modelos encontrados explican un 93.83% y 94.16% la capacidad de rehidratación y la diferencia neta del color, siendo factible construir las superficies de respuesta y definir las regiones de interés.

Tabla 5: Análisis de varianza conforme al diseño factorial 3², evaluando la capacidad de rehidratación en relación con la temperatura y la velocidad.

F. V	SC	GL	CM	Fcal	P-value
A: Temp	10.791	1.0	10.791	512.24	0.000
B: Veloc	0.491	1.0	0.491	23.55	0.000
AB	0.312	1.0	0.312	176.16	0.002
A ²	3.712	1.0	3.711	15	0.000
B ²	1.061	1.0	1.061	50.35	0.000
Residual	1.112	8.0			
Falta de ajuste	0.891	3.0	0.291	14.22	0.000
Error Puro	0.232	11.0	0.021		
Total	18.322	19.0			

Nota: Coeficiente de determinación (R²=93.83%), Error de estimación (sd = 0.183)

El modelo de regresión cuadrático para Y₁: Capacidad de rehidratación es:

$$Y_1 = -34.716 + 1.215*Temperatura + 3.759*Velocidad - 0.008*Temperatura^2 - 0.018*Temperatura*Velocidad - 0.394038*Velocidad^2$$

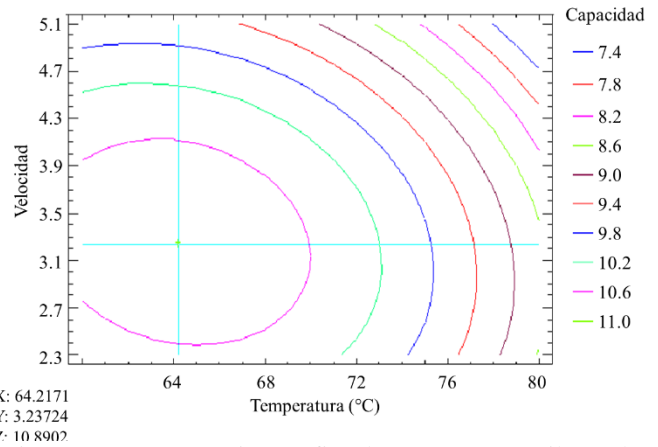


Figura 1: Representación gráfica de contornos que ilustra la capacidad de rehidratación de la oca deshidratada, considerando las variables de temperatura y velocidad.

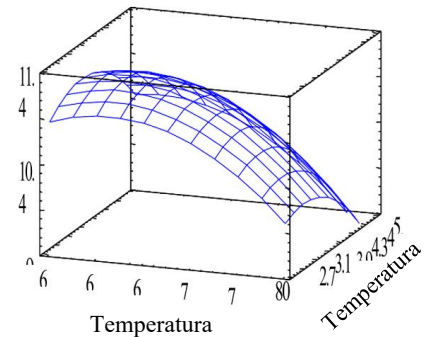


Figura 2: Representación de la superficie de respuesta que muestra la capacidad de rehidratación de la oca deshidratada, considerando la influencia de la temperatura y velocidad.

Tabla 6: Análisis de varianza conforme al diseño factorial 3², evaluando la diferencia neta en color en relación con la temperatura y la velocidad.

F.V	SC	GL	CM	Fcal	p-value
A: Temp	0.0131	1.0	0.0131	81.451	0.000
B: Veloc	0.0112	1.0	0.0106	65.862	0.000
AB	0.0041	1.0	0.0039	24.562	0.000
A ²	0.0121	1.0	0.0121	75.061	0.000
B ²	0.0142	1.0	0.0141	87.771	0.000
Residual	0.0021	14.1	0.0002		
Falta de ajuste	0.0021	3	0.0007	437.811	0.000
Error Puro	0.001	11	1E-05		
Total	0.0524	19			

Nota: Coeficiente de determinación (R²=94.16%), Error de estimación (sd = 0.0126)

El modelo de regresión cuadrático para la variable Y₂, que representa la Diferencia Neta de Color, es el siguiente:

$$Y_2 = -1.18412 + 0.06773*Temperatura - 0.4781*Velocidad - 0.0005*Temperatura^2 + 0.00202*Temperatura*Velocidad + 0.04551*Velocidad^2$$

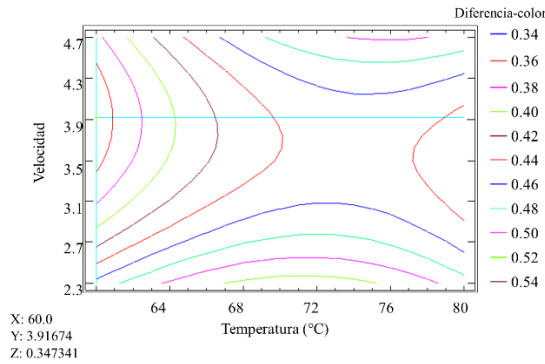


Figura 3: Representación gráfica de contornos que ilustra la diferencia neta en color de la oca deshidratada, considerando las variables de temperatura y velocidad.

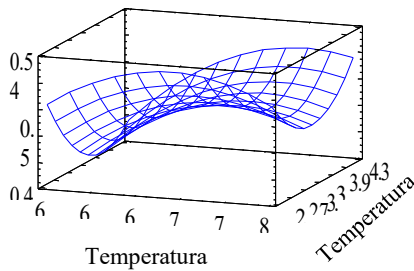


Figura 4: Representación de la superficie de respuesta que muestra la diferencia neta en color de la oca deshidratada, considerando la influencia de la temperatura y velocidad.

Tabla 7: Temperatura y velocidad óptimas para maximizar la capacidad de rehidratación y reducir la diferencia de color en la oca deshidratada.

Nº	Temp.		Veloc.		Nivel Óptimo	
	Mínimo	Máxima	Mínimo	Máximo	Temperatura	Velocidad
Y ₁	60	80	2.3	4.5	64.22	3.23
Y ₂	60	80	2.3	4.5	60	3.92

Los hallazgos indicaron una influencia significativa de las condiciones operativas en las variables de respuesta, identificando las condiciones ideales para la capacidad de rehidratación a 64.80°C y 3.28m/s, manteniendo la integridad de la estructura celular interna. En cuanto a la diferencia neta de color, se identificó como óptimas las condiciones de 60.38°C y 3.90m/s.

V. DISCUSIÓN

El objetivo principal de esta investigación consistió en evaluar mediante la aplicación de la Metodología de Superficie de

Respuesta (MSR) [23,24], cómo la temperatura (en niveles de 60, 70 y 80 °C) y la velocidad del aire (a 2.3, 3.4 y 4.5 m/s) influyen en dos aspectos críticos: la capacidad de rehidratación y la diferencia neta de color de la harina precocida de oca (*Oxalis tuberosa*) variedad flava. La MSR es una herramienta analítica poderosa que permite explorar y modelar de manera sistemática cómo los cambios en las variables de proceso afectan las respuestas de interés. En este caso, la capacidad de rehidratación es esencial para determinar la capacidad del producto deshidratado para recuperar su textura y propiedades originales al ser reconstituido con agua, mientras que la diferencia neta de color proporciona información valiosa sobre los cambios en la apariencia del producto después del proceso de deshidratación. Al evaluar el impacto de la temperatura y la velocidad del aire en estas dos características, se busca obtener información crítica que permita optimizar las condiciones de procesamiento y mejorar la calidad del producto final. Este enfoque científico y sistemático proporciona una base sólida para la toma de decisiones en la industria alimentaria, contribuyendo a la mejora de los procesos de producción y a la satisfacción del consumidor. Este trabajo se distingue por su aporte al conocimiento tanto científico como aplicado en la optimización de procesos [1]. La investigación aborda de manera integral el impacto de la temperatura y la velocidad del aire en la capacidad de rehidratación y diferencia neta de color, aspectos clave para la calidad de productos deshidratados. Los resultados, incluyendo las condiciones óptimas para la rehidratación, no solo benefician la producción de harina de oca, sino que también aportan a estrategias de procesamiento aplicables a diversos alimentos. Este conocimiento es relevante en el contexto de la demanda creciente de alimentos rápidos y nutritivos [2,3].

Comparando estos hallazgos con investigaciones similares, se observa que en Cuba se logró obtener harina de semillas de Moringa con alto potencial para consumo humano mediante un proceso de secado a 42 °C. [11]. En China, al estudiar la harina de papa, se encontró que temperaturas bajas conservan mejor la calidad y el sabor [12]. En Brasil, se determinaron condiciones óptimas para el procesamiento de harina de arándanos [13]. En el ámbito peruano, teniendo como objetivo la obtención de la harina de papa aérea a una temperatura de deshidratación de 60 a 80°C [14], se reportó alto contenido de amilosa (23,30%), lo cual favorece el grado de gelatinización

Este estudio sobre la deshidratación de la harina precocida de oca flava ha proporcionado valiosos insights para la optimización de procesos en la producción alimentaria. Se destacan como beneficios clave la identificación de condiciones óptimas para la capacidad de rehidratación y diferencia neta de color, contribuyendo así a la calidad del producto final [17,23]. Sin embargo, se reconoce que, como toda investigación, presenta limitaciones, como la especificidad de las condiciones experimentales y la necesidad de adaptabilidad a diferentes contextos. A pesar de ello, los beneficios obtenidos tienen el potencial de impactar positivamente en la eficiencia de la

producción de harina de oca y otros alimentos deshidratados. Se recomienda la aplicación y validación de estos resultados en escenarios de producción a mayor escala, así como la exploración de nuevas variables que puedan influir en la calidad de los productos deshidratados. Además, se sugiere la continuación de investigaciones relacionadas con la diversificación de fuentes alimenticias y la sostenibilidad en procesos de deshidratación.

VI. CONCLUSIÓN

Mediante la aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta, se lograron desarrollar modelos estadísticamente significativos ($p < 0.05$) que permiten describir de manera detallada el comportamiento de variables fundamentales en el proceso de producción de harina precocida de Oca Flava. Específicamente, estos modelos proporcionan una comprensión profunda de dos aspectos críticos: la Capacidad de Rehidratación, que es crucial para evaluar la capacidad del producto para recuperar su textura y propiedades originales al ser reconstituido con agua, y la Diferencia Neta de Color, que ofrece información valiosa sobre los cambios en la apariencia del producto después del proceso de deshidratación. Al obtener modelos precisos y significativos para estas variables, se brinda una base sólida para la optimización de procesos, permitiendo ajustar las condiciones operativas de manera precisa para maximizar la calidad y la aceptabilidad del producto final. Estos modelos representan una herramienta valiosa para la industria alimentaria, ya que proporcionan una guía científica y rigurosa para mejorar la eficiencia y la calidad de los procesos de producción de harina de Oca Flava, lo que contribuye a la satisfacción del consumidor y al éxito comercial del producto. La construcción de superficies de respuesta y la definición de regiones de interés resultaron factibles a partir de estos modelos. Se concluyó que la Capacidad de Rehidratación se ve negativamente afectada por elevadas temperaturas y velocidades de aire, ya que estas condiciones conllevan a la disminución de la absorción de agua, reducción y deformación de la estructura celular, junto con la acumulación de sales que causan una desnaturalización parcial de las proteínas, limitando su capacidad de reabsorber agua completamente. Además, se observó que a temperaturas más altas y velocidades de aire más bajas, y viceversa, se registra una Diferencia Neta de Color más pronunciada, atribuible a la formación de colores oscuros por la Reacción de Maillard en el producto.

REFERENCIAS

- [1] D. Tosto y E. Hopp, "Characterization of the nuclear ribosomal DNA unit in *Oxalis tuberosa* (Oxalidaceae) and related species," *Electronic Journal of Biotechnology*, vol. 11, no. 3, pp. 11-22, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-34582008000300002>
- [2] M. Rosero, "Colección, caracterización y conservación de variabilidad genética de oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) en agroecosistemas paramunos del departamento de Nariño-Colombia," Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, 2010.
- [3] P. Clavijo, N. Pérez y M. Martínez, "Tubérculos andinos y conocimiento agrícola local en comunidades rurales de Ecuador y Colombia," *Cuad. Des. Rur II*, vol. 2, no. 74, pp. 149-166, 2014.
- [4] E. Bradbury y E. Emshwiller, "The role of organic acids in the domestication of *Oxalis tuberosa*: a new model for studying domestication resulting in opposing crop phenotypes," *Econ. Bot.*, vol. 65, no. 1, pp. 76-84, 2011. [En línea]. Disponible en: <http://doi:10.1007/s12231-010-9141-0>
- [5] L. Moscoe et al., "Genetic basis for folk classification of oca (*Oxalis tuberosa* Molina; Oxalidaceae): implications for research and conservation of clonally propagated crops," *Gen. Res. Crop. Evol.*, vol. 63, no. 1, pp. 1-21, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1007/s10722-016-0407>
- [6] N. Clavijo, J. Combariza y M. T. Barón, Conservación de tubérculos andinos en sistemas productivos de Boyacá. Una investigación participativa con perspectiva agroecológica. Bogotá: Editorial Pontificia Universidad Javeriana, 2015.
- [7] M. Jiménez, A. Rossi y N. Sammán, "Health properties of oca (*Oxalis tuberosa*) and yacon (*Smallanthus sonchifolius*)," *Food. Funct.*, vol. 6, no. 10, pp. 3266-3271, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://doi.org/10.1039/c5fo00174a>
- [8] T. Fairlie, M. Morales y M. Holle, Raíces y tubérculos andinos. Avances de Investigación I. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa, Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina-CONDESAN, 1999.
- [9] D. Santos et al., "Storage of 'umbu-cajá' pulp powder produced by lyophilization," *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 20, no. 12, pp. 1118-1123, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n12p1118-1123>
- [10] E. S. Mosquera, A. A. Ayala y L. Serna, "Ultrasonido y deshidratación osmótica como pretratamientos a la liofilización de Melón (*Cucumis melo* L.)," *Información Tecnológica*, vol. 30, no. 3, pp. 179-188, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000300179>
- [11] H. Zhuang, S. Liu, K. Wang, R. Zhong, J. H. Aheto, J. Bai y X. Tian, "Caracterización de las propiedades pastosas estructurales y volátiles de la harina de papa," *Agricultura*, vol. 12, p. 1974, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agriculture12121974>
- [12] V. Biasi, E. Huber y P. L. M. Barreto, "Optimización del procesamiento de harina arándanos y extracción de antocianinas," *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 57, artículo e02537, 2022. [En línea]. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.02537>
- [13] M. C. Figueredo-Rondón y R. R. González-Gutiérrez, "Evaluación del secado de la *Musa Paradisiaca* (plátano) utilizando el aparato de laboratorio SBAN," *Tecnología Química*, vol. 37, no. 2, pp. 293-304, 2017. [En línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852017000200011&lng=es&tlng=es. Recuperado en 30 de enero de 2024.
- [14] J. S. Chumacero, R. Lazo, E. Navarro y A. Quinteros, "Conservación de camu camu (*Myrciaria dubia* Kunth McVaugh) por liofilización," *Información tecnológica*, vol. 33, no. 5, pp. 11-18, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000500011>
- [15] C. Romero, "Deshidratación Osmótica de Tomate de Árbol (*Cyphomandra baccata*), " *Journal of Food Sciences, Estados Unidos*, 2000.
- [16] Brammer, J. G., & Bridgwater, A. V. (1999). *Drying technologies for an integrated gasification bio-energy plant*. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(99\)00008-8](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(99)00008-8)
- [17] Fito, P., Andrés, A. M., Albors, A. M., & Barat, J. M. (2001). *Introducción Al Secado De Alimentos Por Aire Caliente. Introducción Al Secado De Alimentos Por Aire Caliente*.

- [18] Simal, S., Deyá, E., Frau, M., & Rosselló, C. (1997). Simple modelling of air drying curves of fresh and osmotically pre-dehydrated apple cubes. *Journal of Food Engineering*. [https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(97\)00049-6](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(97)00049-6)
- [19] Tulasidas, T. N., Raghavan, G. S. V., & Mujumdar, A. S. (1995). Microwave drying of grapes in a single mode cavity at 2450 mhz - i: Drying kinetics. *Drying Technology*. <https://doi.org/10.1080/07373939508917058>
- [20] Gutiérrez, Ana; Infantes, Marcos; Pascual, Gloria; Zamora, J. (2015). Secado del tarwi (*Lupinus mutabilis*) por métodos combinados: deshidratación osmótica y microondas con aire caliente. *Agroindustrial Science*. <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2015.02.04>
- [21] M. Fellows, *Tecnología del Procesado de Alimentos*. Zaragoza, España: Editorial Acribia, 1994.
- [22] M. Guerrero, "Influencia de las condiciones de secado por aire caliente en la variación de la densidad real y la porosidad de rodajas de manzanas variación delicia (*Malus domestica* borkh)," Tesis para optar el título de Ingeniero Alimentario, Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú, 2005.
- [23] R. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*, tomo IV. Sexta edición. México, 1992.
- [24] G. Nonhebel, *El secado de sólidos en la industria química*. Primera edición. Barcelona, España, 1979.
- [25] M. Cárdenas, *Manual de plantas económicas de Bolivia*, 2nd ed. La Paz, Bolivia: Los Amigos del Libro, 1989.
- [26] J. Ayala y R. Pardo, *Optimización por Diseños Experimentales con Aplicaciones en Ingeniería*. Lima, Perú, 1985.
- [27] J. A. Cornell, *Experiments with mixtures: Design, Models and the analysis of mixture data*. New York, second edition, 1990.