

DOI: <https://doi.org/10.65558/mkop3732qq12q>

OBTENCIÓN DE HARINA DE CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE MEDIANTE SECADO POR AIRE CALIENTE

OBTAINING GREEN BANANA PEEL FLOUR BY HOT AIR DRYING

Fecha de recepción: 26/09/2025 | Fecha de aceptación: 03/12/2025

Ramírez Ruiz Erick¹
Benitez Tomasa²

¹ Ingeniero Químico y de Alimentos, M.Sc.
Director Carrera de Alimentos de la Facultad de Ciencias y Tecnología
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

Correspondencia del autor: erick.ramirez@uajms.edu.bo¹, erickramirezruiz@yahoo.com.ar¹
Tarija - Bolivia

OBTENCIÓN DE HARINA DE CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE MEDIANTE SECADO POR AIRE CALIENTE

² Benitez Tomasa

Ingeniera en Alimentos, Facultad de Ciencias y Tecnología
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

Tarija, Bolivia

RESUMEN

El trabajo de investigación tiene como objetivo obtener harina a partir de cáscara de plátano verde (**Musa paradisiaca**), mediante el proceso de secado por aire caliente; aplicando un paradigma positivista. El proceso constó de: selección, lavado, cortado, pelado, laminado, cortado, secado, molienda, tamizado y envasado. Utilizándose un secador de bandejas eléctrico para el secado de las muestras de cáscara y un molino eléctrico para reducir el tamaño de partícula hasta 0,3mm.

El análisis fisicoquímico de la cáscara de plátano verde: humedad 89,51 g/100 g; ceniza 1,85 g/100 g; grasa 0,85 g/100 g; proteína total 1,50 g/100 g; fibra 6,02 g/100 g; carbohidratos 6,29 g/100 g; valor energético 39 kcal/100 g; pH 6,56; sólidos totales 10,49 g/100 g; potasio 603 mg/100 g y calcio 22 mg/100 g.

Las pruebas experimentales consistieron de cuatro ensayos iniciales: solución ácido ascórbico al 0,1%, solución de ácido cítrico 0,1%, solución sorbato de potasio 0,1% y sin tratamiento (natural). Seleccionándose la muestra H04 (sin tratamiento) cuyo contenido de humedad fue menor en menor tiempo. El análisis factorial 23 consistió en tres factores: temperatura (A), espesor de corte (B) y velocidad de aire. Siendo la muestra T02 la más adecuada para la obtención de harina de cáscara de banana.

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la harina son: ceniza 13,05 g/100 g; fibra 7,80 g/100 g; grasa 6,73 g/100 g; carbohidratos 69,86 g/100 g; proteína total 7,59 g/100 g; humedad 2,77 g/100 g; calcio 125 mg/100 g; potasio 4718 mg/100 g; Coliformes totales $4,0 \times 10^1$ UFC/g; Escherichia coli $<1,0 \times 10^1$ UFC/g; Mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ UFC/g.

ABSTRACT

The research aims to obtain flour from green banana peel (**Musa paradisiaca**) thru hot-air drying, applying a positivist paradigm. The process consisted of: selection, washing, cutting, peeling, slicing, chopping, drying, grinding, sieving, and packaging. An electric tray dryer was used to dry the peel samples, and an electric mill was used to reduce the particle size to 0.3 mm.

The physicochemical analysis of green banana peel: moisture 89.51 g/100 g; ash 1.85 g/100 g; fat 0.85 g/100 g; total protein 1.50 g/100 g; fiber 6.02 g/100 g; carbohydrates 6.29 g/100 g; energy value 39 kcal/100 g; pH 6.56; total solids 10.49 g/100 g; potassium 603 mg/100 g; and calcium 22 mg/100 g.

The experimental tests consisted of four initial trials: 0.1% ascorbic acid solution, 0.1% citric acid solution, 0.1% potassium sorbate solution, and no treatment (natural). Sample H04 (no treatment) was selected because its moisture content decreased more quickly. The 23 factorial analysis consisted of three factors: temperature (A), cutting thickness (B), and air velocity. Sample T02 was the most suitable for producing banana peel flour.

The physicochemical and microbiological analyzes of the flour are: ash 13.05 g/100 g; fiber 7.80 g/100 g; fat 6.73 g/100 g; carbohydrates 69.86 g/100 g; total protein 7.59 g/100 g; moisture 2.77 g/100 g; calcium 125 mg/100 g; potassium 4718 mg/100 g; total coliforms 4.0×10^1 CFU/g; Escherichia coli $<1.0 \times 10^1$ CFU/g; molds and yeasts $<1.0 \times 10^1$ CFU/g.

Palabras Clave: Cáscara de plátano verde, experimental, secado aire caliente, harina.

Keywords: Green banana peel, experimental, hot air drying, flour.

1. INTRODUCCIÓN

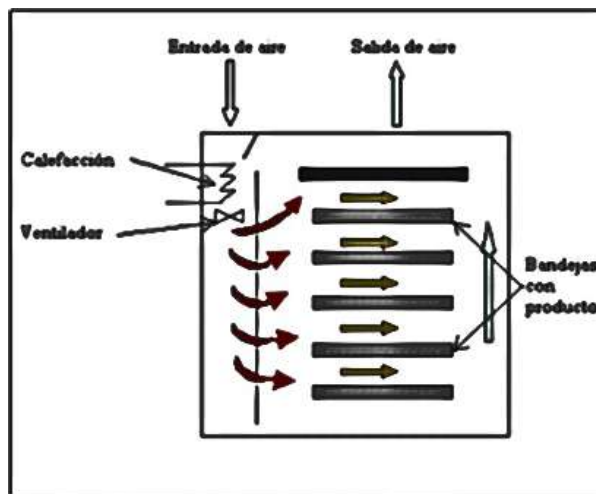
La cáscara de plátano posee un elevado valor nutricional, principalmente desde el punto de vista energético. Entre sus características, se encuentra su elevado contenido de materia seca y alta concentración de carbohidratos no fibrosos. La cáscara de plátano representa alrededor del 30% del fruto, esta se descarta y pudiera ser utilizada para el desarrollo de alimentos, debido a su composición química y antioxidante. Es rica en fibra, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados, potasio y en compuestos fenólicos (Chumo y Pin, 2023- pág. 1-5).

El secado de alimentos es una de las operaciones más antiguas utilizadas para conservar alimentos que ha dado lugar a productos secos tradicionales como carnes, pescados, frutas, quesos. La conservación se consigue debido a que se reduce la actividad de agua a niveles muy bajos donde se puede bloquear el crecimiento microbiológico (Tecante, 2009-pág 1-20).

El secado por flujo de aire es una técnica que por medio del calor se elimina el agua que contiene algunos alimentos mediante la evaporación, lo que impide el crecimiento de algunas bacterias que no pueden vivir en medios secos (Barrera, 2007-pág 141-143).

Este método de conservación ayuda a los alimentos a prolongar su vida útil, reduciendo el riesgo de contaminación por microorganismos, reduciendo el peso y el volumen; contribuyendo a disminuir el espacio de transporte entre otros factores de manipulación de los alimentos. (Maupoey et al, pág. 8). En la Figura 1 se muestra en detalle un secador de bandejas que son en general aparatos sencillos y de fácil manejo. Estos secadores por convección son los más utilizados en las industrias agroalimentarias y constan, en esencia, de las siguientes partes:

Figura 1: Secador de bandejas

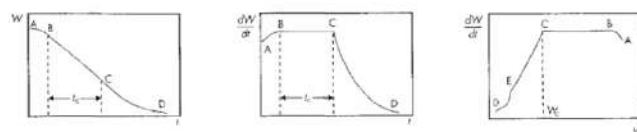


Consiste en hacer circular aire caliente entre las bandejas por medio del ventilador acoplado al motor haciéndole pasar previamente por el calentador constituido por un haz de aletas abiertas por cuyo interior circula normalmente vapor de agua (Maupoey et al, pág 20-23)

Según Giraldo et al, (2010-pag 180) la cinética de secado de un material no es más que la dependencia de la humedad del material y de la intensidad de evaporación con el tiempo o variables relacionadas con este, como la propia humedad o las dimensiones del equipo.

Según (Aguado et al., 2002-pág 169-170) la representación de la humedad del producto frente al tiempo de secado es el punto de partida para establecer la evolución de la velocidad de secado a lo largo de la operación. En la Figura 2, se muestran las etapas de secado de un alimento con aire caliente.

Figura 2: Etapas del secado de un alimento con aire caliente



Fuente: Aguado et al., 2002

Estas variaciones típicas de humedad de un alimento y su velocidad de secado frente al tiempo son muy importantes sobre la variación del contenido de humedad en base seca conforme se reduce el contenido de agua en el alimento en función de tiempo que se expone dentro del secador.

2. DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología que se utilizó en el presente trabajo comprende:

Paradigma investigativo

Según Gallardo, (2017) el paradigma es una postura macro que se tiene ante la realidad de un fenómeno determinado, donde quienes comparten esas ideas manejan un mismo lenguaje, se orientan a través de valores, metas y creencias en común (pág. 21).

Tipo de investigación

Según Tamayo y Tamayo, (2003) la investigación experimental se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular (pág. 47).

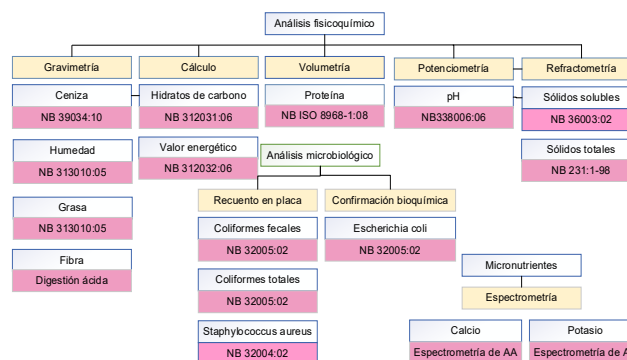
Métodos – técnicas e instrumentos

Según Cabezas et al, (2018-pág) el método científico se refiere a la ciencia como un conjunto de pensamientos universales y necesarios, y que en función de estos surgen algunas cualidades importantes, es el procedimiento que se sigue en la investigación, con el objetivo de descubrir las formas de existencia de los procesos objetivos, para desentrañar conexiones internas y externas, para generalizar y profundizar los conocimientos adquiridos.

Análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes de la cáscara de plátano verde

En la Figura 3, se muestran los métodos y técnicas para los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes de la cáscara de plátano verde.

Figura 3. Análisis fisicoquímicos la cáscara de plátano verde

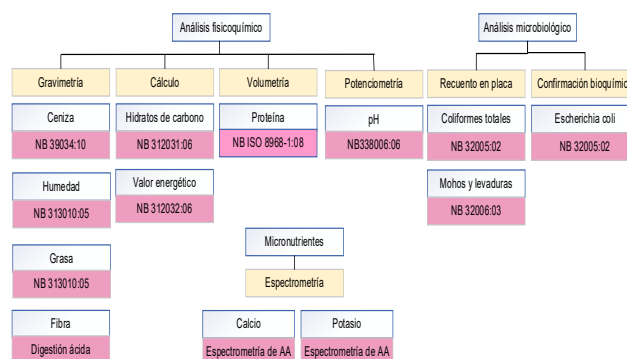


Fuente: CEANID, 2024

Análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes de la harina de cáscara de plátano verde

En la Figura 4, se muestran los métodos y técnicas del análisis fisicoquímico, microbiológico y micronutrientes de la harina de cáscara de plátano verde.

Figura 4 Métodos y técnicas del análisis fisicoquímico, microbiológico y micronutrientes de la harina de cáscara de plátano verde

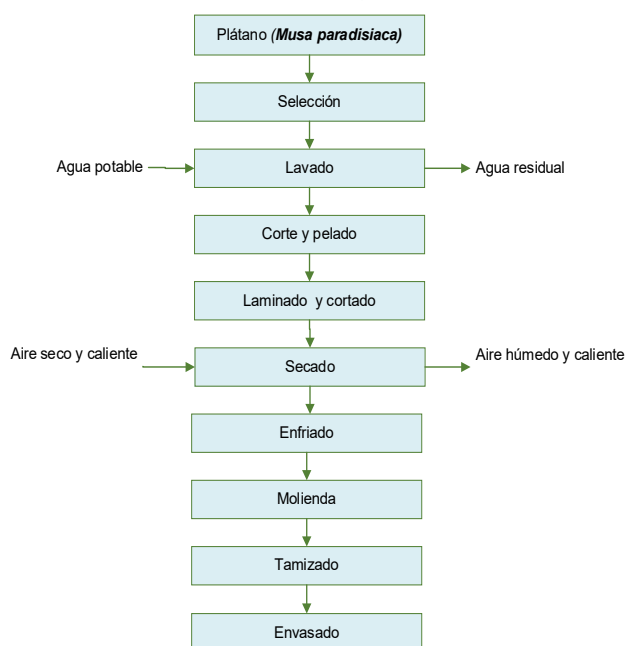


Fuente: CEANID, 2024

Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de cáscara de plátano verde

En la Figura 5, se muestra el diagrama de flujo a nivel experimental del proceso de secado por aire caliente para la obtención de harina de cáscara de plátano verde.

Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de cáscara de plátano verde



Fuente: Elaboración propia

Plátano

El plátano verde (*Musa paradisiaca*) fue adquirido del Mercado Campesino de la provincia Cercado del departamento de Tarija.

Selección

En la etapa de selección se clasificó el plátano de acuerdo al estado de madurez y separando aquellas que se encuentren golpeadas o negras no aptas para el proceso.

Lavado

El lavado del plátano se realizó utilizando DG-6 y agua potable en relación (0,1:1,0), con la finalidad de eliminar microorganismos e impurezas.

Cortado y pelado

El cortado se realizó eliminando los cabos y puntas de cada plátano, con la finalidad de facilitar el pelado y separar la porción útil y no útil. Para posteriormente, ser pelado de forma manual, eliminando la cáscara de la pulpa (mesocarpio) con el fin de obtener la cáscara.

Laminado y cortado

El proceso de laminado de la cáscara se realizó utilizando un picador de hortalizas para obtener tiras entre (3 – 4) mm de espesor en forma longitudinal.

Secado

El proceso de secado consistió en ajustar las condiciones de trabajo en el secador eléctrico de bandejas marca Esztergon, como ser temperatura entre (60-70)°C y ventilación entre (4-5)m/s. Posteriormente, son colocadas las bandejas de aluminio con las muestras de cáscara de plátano verde (laminadas) y se realizaron los controles de pérdida de peso en periodos de 10min hasta obtener peso constante entre (3-4) horas.

Enfriado y preenvasado

En la etapa consistió en retirar las bandejas del secador para ser enfriadas a temperatura ambiente entre (20-25°C) y para evitar que las muestras transpiren durante el proceso de envasado, se utilizaron bolsas de polipropileno.

Posteriormente, las muestras son preenvasadas de polipropileno de alta densidad con espesor de 0,05 mm y cierre hermético.

Molienda

El proceso de molienda consistió en introducir las muestras secas de cáscara, previamente troceadas al molino eléctrico modelo Li-HELPER de potencia 200W; con el fin de reducir el tamaño de las partículas hasta una granulometría de 0,3mm.

Tamizado

El proceso de tamizado de la harina de cáscara de plátano verde se realizó utilizando un tamiz vibratorio con abertura de malla (0,25) mm, con el fin de obtener harina de cáscara de plátano fina.

Envasado

El envasado de la harina de cáscara de plátano verde se realizó en bolsas de polipropileno de alta densidad con espesor de 0,05 mm y cierre hermético con la finalidad de evitar el intercambio de humedad del ambiente y agentes que puedan contaminar al producto.

3. RESULTADOS

En base al diseño metodológico se procedió a realizar la caracterización de los resultados obtenidos a nivel experimental del proceso de secado.

Análisis fisicoquímico de la cáscara de plátano verde

En la Tabla 1, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la cáscara de plátano verde.

Tabla 1: Análisis fisicoquímico de la cáscara de plátano

Parámetros	Unidad	Resultado
Humedad	g/100 g	89,51
Ceniza	g/100 g	1,85
Grasa	g/100 g	0,85
Proteína total (N*6,25)	g/100 g	1,50
Fibra	g/100 g	6,02
Hidratos de carbono	g/100 g	6,29
Valor energético	kcal/100 g	39,00
pH	-	6,56
Sólidos solubles	°Brix	1,10
Sólidos totales	g/100 g	10,49

Fuente: CEANID, 2024

Análisis microbiológico de la cáscara de plátano verde

En la Tabla 2, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la cáscara de plátano verde.

Tabla 2 Análisis microbiológico de la cáscara de plátano verde

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes fecales	UFC/g	<1,0x10 ¹ (*)
(Coliformes totales	UFC/g	9,0x10 ²
Escherichia coli	UFC/g	<1,0x10 ¹ (*)
Staphylococcus aureus	UFC/g	<1,0x10 ¹ (*)
(*) No se observa desarrollo de colonias		

Fuente: CEANID, 2024

Análisis de micronutrientes de la cáscara de plátano verde

En la Tabla 3, se muestran los resultados obtenidos del análisis de micronutrientes de la cáscara de plátano verde.

Tabla 3. Análisis de micronutrientes de la cáscara de plátano

Micronutrientes	Unidad	Resultado
Potasio	mg/100 g	603
Calcio	mg/100 g	22

Fuente: CEANID, 2024

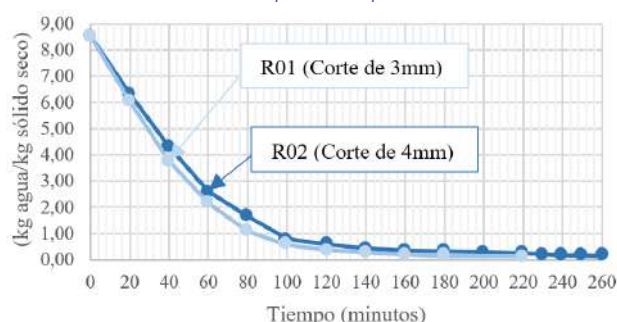
Caracterización de las variables del proceso de obtención de harina de cáscara de plátano verde

Para la caracterización de las variables del proceso de secado con aire caliente para la obtención de harina de cáscara de plátano verde, se tomaron en cuenta pruebas experimentales; como ser el pretratamiento y pruebas preliminares.

Pruebas preliminares para el tipo de corte con solución de ácido ascórbico

En la Figura 6, se observa la variación del contenido de humedad en base seca del ensayo 1; en función del tipo de corte manteniendo el proceso de secado a 60°C y ventilación de 4m/s en solución de ácido ascórbico (0,10%) para un tiempo de secado entre (120-200) min.

Figura 6: Variación del contenido de humedad en base seca para el tipo de corte



Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 6, se eligió la muestra R01 con corte de 3 mm que alcanzó el menor contenido de humedad en base seca de 0,37 kg agua/kg sólido seco en el menor tiempo de secado de 120 minutos. Para el ensayo 2 y ensayo 3, con soluciones de ácido cítrico y sorbato de potasio respectivamente, se emplearon el método de Hendley (2016), que consiste en sumergir las muestras en una solución 0,10% durante cinco minutos y luego proceder al secado. El ensayo 4 se realizó sin tratamiento (natural).

Selección de pretratamiento a ser aplicado en las muestras de cáscara de plátano verde

Luego de realizar los cuatro ensayos a nivel experimental de secado con diferentes pretratamientos y sin pretratamiento para obtener harina de cáscara de plátano. Las muestras más adecuadas fueron (S03: ensayo 1), tiempo 5 minutos en ácido ascórbico 0,20%, (S05: ensayo 2), tiempo 7 minutos en solución ácido cítrico 0,20%, (S09: ensayo 3) tiempo de 15 minutos en solución de sorbato de potasio al 0,15% y (S10: sin tratamiento), como se muestra en la Figura 7.

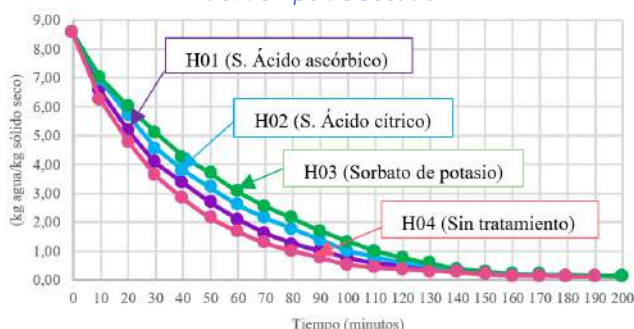
Figura 7: Pruebas de pretratamiento de harina plátano



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 8, se observan las muestras seleccionadas H01, H02, H03 y H04 en función de los tipos de pretratamiento en función del contenido de humedad en base seca y tiempo de secado.

Figura 8: Variación del contenido de humedad en función del tiempo de secado



Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 8, la muestra H04 (sin pretratamiento) fue la elegida por ser más eficiente durante el proceso de secado, ya que alcanzó un valor de humedad final de 0,129 kg agua/kg sólido seco en 190 minutos. En comparación, las muestras con pretratamiento H01, H02 y H03 que tardaron 200 minutos en secarse y que mostraron mayor contenido de humedad final entre (0,133; 0,141 y 0,149) kg agua/kg sólido seco.

Diseño experimental

Según Gutiérrez y De la Vara, (2008-pág 6-7) el diseño de experimentos es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso, por medio de pruebas planeadas adecuadamente. Esta metodología se ha ido consolidando como un conjunto de técnicas estadísticas y de ingeniería. Así mismo, Ramírez (2024- 1-3), permite manejar los factores de un experimento de manera controlada tanto variables independientes y variable respuesta.

Diseño factorial 2³ en el proceso de secado de muestras de cáscara de plátano verde

Se utilizó un diseño factorial 2³ con ocho tratamientos en el proceso de secado para las muestras de cáscara de plátano verde que estuvo conformado en base a la muestra ideal (H01), para la obtención de harina de cáscara de plátano en donde se tomaron en cuenta las variables: temperatura entre (60 – 70

°C, espesor de corte entre (3 – 4) mm y velocidad de aire entre (4 – 5) m/s. Así mismo se tomó como variable respuesta el contenido de humedad en base seca (kg agua/kg sólido seco); utilizando dos métodos de tratamiento: solución de ácido ascórbico 0,10% y sin tratamiento (natural).

Contenido de humedad en base seca con tratamiento con solución de ácido ascórbico

En la Tabla 4, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño factorial 2³ aplicado en el proceso de secado en función de la variable respuesta de contenido de humedad en base seca.

Tabla 4 Análisis de varianza en función a la variable respuesta del contenido de humedad

Fuente de Varianza	suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Fcal	Ftab
Factor A	0,0010	1	0,0010	9,43	5,31*
Factor B	0,0009	1	0,0009	8,57	5,31*
Factor C	0,0002	1	0,0002	0,20	5,31
Interacción AB	0,0001	1	0,0001	0,10	5,31
Interacción AC	0,0002	1	0,0002	1,59	5,31
Interacción BC	0,0002	1	0,0002	1,36	5,31
Interacción ABC	0,0001	1	0,0001	0,95	5,31
Error total	0,0009	8	0,0001	-	-
Total	0,0033	15	-	-	-

*Significativo

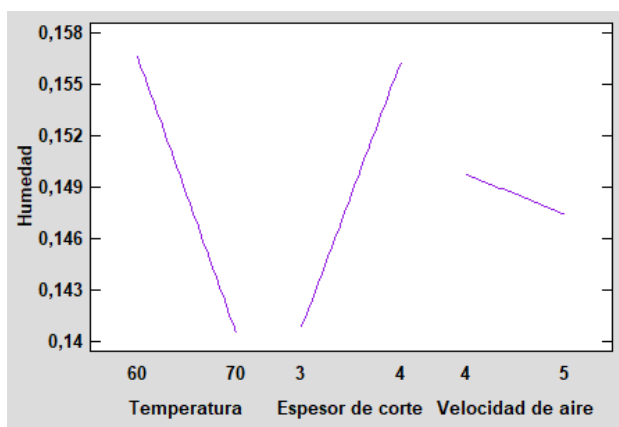
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4, se puede observar que, para los factores A (temperatura) y B (espesor de corte), se evidencian diferencias significativas en el proceso de secado, dado que $F_{cal} > F_{tab}$; en consecuencia, se

rechaza la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la Figura 9, se muestran los efectos principales para los factores: A (temperatura), B (velocidad de aire) y C (espesor de corte) con relación a la variable respuesta contenido de humedad (kg agua/kg sólido seco).

Figura 9: Efectos especiales para el contenido de humedad

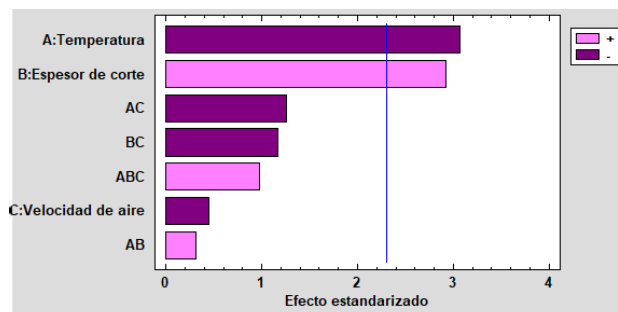


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 9, se observa que los factores A (temperatura), en el rango de (60 – 70) °C, y B (espesor de corte), entre (3 – 4) mm, influyen significativamente sobre la variable respuesta del contenido de humedad en base seca cuando se encuentran en sus niveles alto y bajo. Sin embargo, el factor C (velocidad del aire), en el rango de (4 – 5) m/s, no presenta una incidencia significativa en dichos niveles, ya que la variación del contenido de humedad en base seca es mínima.

En la Figura 10, se presenta el diagrama de Pareto estandarizado correspondiente a los factores considerados en el diseño factorial. En donde, el nivel de significancia estadística está representado por una línea vertical de referencia con un valor de 2,303. Por lo tanto, aquellos factores que sobrepasan la línea son considerados estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Figura 10: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad



Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 10, se observa que los factores: temperatura (A), temperatura – velocidad de aire (AC), espesor de corte – velocidad de aire (BC) y velocidad de aire (C), influyen de manera negativa es decir que disminuyen el contenido de humedad en base seca. Sin embargo, los factores temperatura (A) y espesor de corte (B) son significativos con respecto la línea vertical de referencia de 2,303 a un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la Tabla 5, se muestran los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de cáscara de plátano.

Tabla 5: Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca

Factores	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (A)	60,0	70,0	70,0
Espesor de corte (B)	3,0	4,0	3,0
Velocidad de aire (C)	4,0	5,0	5,0

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5, se presentan los valores óptimos de los factores evaluados: temperatura de 70 °C, espesor de corte de 3 mm y velocidad de aire de 5 m/s. Bajo estas condiciones de secado, se obtiene el valor óptimo del contenido de humedad en base seca. Este resultado se asocia con la muestra final P06 con pretratamiento en solución de ácido ascórbico al 0,10%.

Diseño factorial 2³ en el proceso de secado de muestras de cáscara de plátano sin tratamiento

En base a la muestra ideal (H04), se procedió a aplicar de manera experimental el diseño factorial 2³ en el proceso de secado para la obtención de harina de cáscara de plátano, donde se tomaron en cuenta las variables: temperatura entre (60 – 70) °C, espesor de corte entre (3 – 4) mm y velocidad de aire entre (4 – 5) m/s. Así mismo se tomó como variable respuesta el contenido de humedad en base seca (kg agua/kg sólido seco).

Contenido de humedad en base seca de las muestras sin tratamiento

En la Tabla 6, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño factorial 2³ aplicado en el proceso de secado en función de la variable respuesta de contenido de humedad en base seca.

Tabla 6: Análisis de varianza en función a la variable respuesta del contenido de humedad

Fuentes de varianza	Suma de cuadrados	Grados de libertad	cuadrados medios	Fcal	Ftab
Factor A	0,0011	1	0,0011	31,30	5,31*
Factor B	0,0009	1	0,0009	27,56	5,31*
Factor C	0,0002	1	0,0002	0,01	5,31
Interacción AB	0,0002	1	0,0002	6,23	5,31
Interacción AC	0,0002	1	0,0002	0,07	5,31
Interacción BC	0,0006	1	0,0006	17,79	5,31
Interacción ABC	0,0003	1	0,0003	0,90	5,31
Error total	0,0003	8	0,0003	-	-
Total	0,0031	15	-	-	-

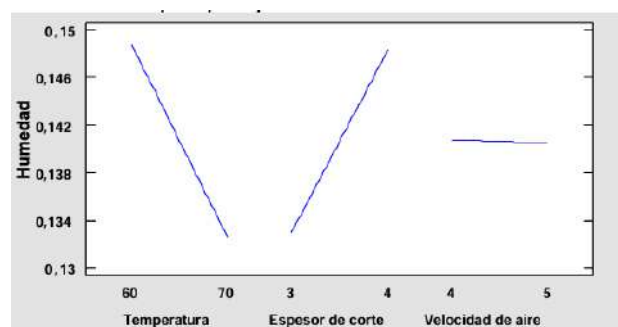
*Significativo

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 6, se puede observar que para los factores A y B, así como para las interacciones AB y BC, se evidencian diferencias significativas en el proceso de secado, dado que $F_{cal} > F_{tab}$; en consecuencia, se rechaza la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la Figura 11, se muestran los efectos principales para los factores: A (temperatura), B (velocidad de aire) y C (espesor de corte) con relación a la variable respuesta contenido de humedad (kg agua/kg sólido seco).

Figura 11: Efectos especiales para el contenido de humedad

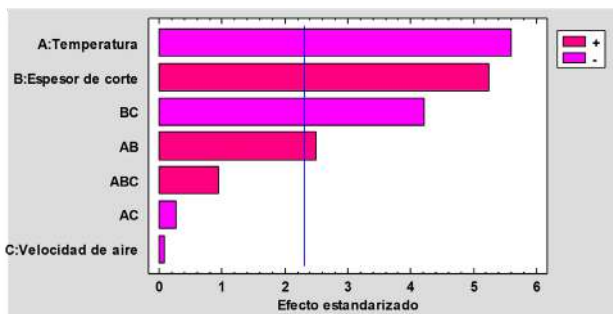


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 11, se observa que los factores A (temperatura), en el rango de (60 – 70) °C, y B (espesor de corte), entre (3 – 4) mm, influyen significativamente sobre la variable respuesta del contenido de humedad en base seca cuando se encuentran en sus niveles alto y bajo. Sin embargo, el factor C (velocidad del aire), en el rango de (4 – 5) m/s, no presenta una incidencia significativa en dichos niveles, ya que la variación del contenido de humedad en base seca es mínima.

En la Figura 12, se presenta el diagrama de Pareto estandarizado correspondiente a los factores considerados en el diseño factorial. En donde, el nivel de significancia estadística está representado por una línea vertical de referencia con un valor de 2,303. Por lo tanto, aquellos factores que sobrepasan la línea son considerados estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Figura 12: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad



Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 12, se observa que los factores: temperatura (A), espesor de corte – velocidad de aire (BC), temperatura – velocidad de aire (AC) y velocidad de aire (C), impactan de manera negativa, es decir, que disminuyen el contenido de humedad en base seca. Sin embargo, el factor temperatura (A), es el más significativo en comparación a los factores: espesor de corte (B), espesor de corte – velocidad de secado (BC) y temperatura – espesor de corte (AB). En donde, el nivel de significancia estadística está representado por una línea vertical de referencia con un valor de 2,303. Por lo tanto, aquellos factores que sobrepasan la línea son considerados estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la Tabla 7, se muestran los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de cáscara de plátano.

Tabla 7: Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca

Factores	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (A)	60,0	70,0	70,0
Espesor de corte (B)	3,0	4,0	3,0
Velocidad de aire (C)	4,0	5,0	4,0

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7, se presentan los valores óptimos de los factores evaluados: temperatura de 70 °C, espesor de corte de 3 mm y velocidad de aire de 4 m/s. Bajo estas condiciones de secado, se obtiene el valor óptimo del contenido de humedad en base seca. Este resultado se asocia con la muestra final T02, la cual no fue sometida a pretratamiento.

Caracterización de la harina de cáscara de plátano verde

En la caracterización de la harina de cáscara de plátano se tomaron en cuenta los parámetros: fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes, como ser:

Análisis fisicoquímico de la harina de cáscara de plátano verde

En la Tabla 8, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de harina de cáscara de plátano.

Tabla 8: Análisis fisicoquímico de la harina de cáscara de plátano verde

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	g/100g	13,05
Fibra	g/100g	7,80
Grasa	g/100g	6,73
Hidratos de carbono	g/100g	69,86
Proteína total (N*6,25)	g/100g	7,59
Humedad	g/100g	2,77
Valor energético	kcal/100g	370,00

Fuente: CEANID, 2024

Se observa que la harina de cáscara de plátano contiene: ceniza 13,05 g/100g; fibra 7,80 g/100g; grasa 6,73 g/100g; hidratos de carbono 69,86 g/100g; proteína total (N*6,25) 7,59 g/100g; humedad 2,77 g/100g y valor energético 370 kcal/100g.

Análisis de micronutrientes de la harina de cáscara de plátano verde

En la Tabla 9, se muestran los resultados obtenidos del análisis de micronutrientes de harina de cáscara de plátano verde.

Tabla 9: Análisis de micronutrientes de la harina de cáscara de plátano verde

Micronutrientes	Unidad	Resultado
Calcio	mg/100g	125
Potasio	mg/100g	4718

Fuente: CEANID, 2024

Se observa que la harina de plátano presenta calcio 125 mg/100 g y potasio 4718 mg/100 g.

Análisis microbiológico de la harina de cáscara de plátano verde

En la Tabla 10, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico de harina de cáscara de plátano verde.

Tabla 10: Análisis microbiológico de la harina de cáscara de plátano verde

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/g	4,0x10 ¹
Escherichia coli	UFC/g	<1,0 x10 ¹ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	<1,0 x10 ¹ (*)
(*) no se observa desarrollo de colonias		

Fuente: CEANID, 2024

Se observa que la harina de cáscara de plátano contiene: Coliformes totales 4,0 x10¹ UFC/g; Escherichia coli <1,0 x10¹ (*) UFC/g y Mohos y levaduras <1,0 x10¹ (*) UFC/g.

4. DISCUSIONES

Al realizar el proceso de secado a las muestras de cáscara de plátano se obtuvieron resultados de 125 mg/100 g de calcio y 4718 mg/100 g, valores que superan lo reportado por Alshehry, (2023). Lo que destaca el potencial de valor agregado nutricional para enriquecer alimentos con estos minerales.

El uso de harina de cáscara de plátano es promotor ya que mejora las propiedades nutricionales y funcionales sin afectar negativamente la aceptabilidad sensorial según Buranasomb et al., (2022).

Además, según García et al., (2021) aprovechar la cáscara de plátano reduce desperdicios y promueve la sostenibilidad, apoyando una cadena agroindustrial más circular.

5. CONCLUSIONES

En base a los resultados fisicoquímicos de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) se tiene: humedad 89,51 g/100g; ceniza 1,85 g/100g; grasa 0,85 g/100g; proteína total 1,50 g/100g; fibra 6,02 g/100g; hidratos de carbono 6,29 g/100g; valor energético 39 kcal/100g; pH 6,56; sólidos solubles 1,10 g/100 g y sólidos totales 10,49 g/100g. Así mismo, en micronutrientes contiene: 603 mg/100g de potasio y 22 mg/100g de calcio.

En base a los análisis microbiológicos de la cáscara de plátano, esta contiene: coliformes fecales <1,0x10¹ (*) UFC/g; coliformes totales 9,0x10² UFC/g; escherichia coli <1,0x10¹ (*) UFC/g y staphylococcus aureus <1,0x10¹ (*) UFC/g. Donde (*) no se observa desarrollo de colonias.

Realizadas las curvas de variación del contenido de humedad en función del tiempo y los tratamientos aplicados, se concluye que la muestra H04 (sin tratamiento) fue la más eficiente, alcanzando un contenido de humedad bajo en menos tiempo.

Los resultados del diseño factorial 2^3 permitieron identificar que la muestra T02 (sin tratamiento) presentó el valor mínimo de humedad en 150 min. En comparación, la muestra P06 (tratada con ácido ascórbico) alcanzó un contenido de humedad un poco más alto al mismo tiempo. Por lo tanto, se determinó que la muestra T02 es la más adecuada para la obtención de harina de cáscara de plátano, debido a su mayor eficiencia en el proceso de secado.

En base a los análisis fisicoquímicos de la harina de cáscara de plátano esta contiene: ceniza 13,05 g/100g; fibra 7,80 g/100g; grasa 6,73 g/100g; hidratos de carbono 69,86 g/100g; proteína total (N*6,25) 7,59 g/100g; humedad 2,77 g/100g y valor energético 370 kcal/100g. Los micronutrientes contienen: 125 mg/100 g de calcio y 4718 mg/100 g de potasio.

En base a los análisis microbiológicos de la harina de cáscara de plátano esta contiene: coliformes totales $4,0 \times 10^1$ UFC/g; escherichia coli $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g y mohos y Levaduras $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g. Donde (*) no se observa desarrollo de colonias.

6. BIBLIOGRAFÍA

-  Aguado, J., Calles, J. A., Cañizares, P., Lopez, B., Santos, A. y Serrano, D. (Ed), (2002). Ingeniería en la Industria Alimentaria. Editorial síntesis S.A. <https://es.scribd.com/doc/282930906/Ingenieria-de-La-Industria-Alimentaria-Volumen-3-Operaciones-de-Conservacion-de-Alimentos-F-rodriguez>
-  Alshehry, G. A. (2022). Aplicaciones medicinales de la harina de cáscara de plátano usada como sustituto para calcular la fibra dietética en la harina de trigo en la industria de galletas. <https://doi.org/10.1155/2022/2973153>
-  Barrera, P. C. (2007). estudio de la deshidratación osmótica y del secado por aire caliente como operaciones de estabilización de productos de manzana (var. granny smith) enriquecidos en calcio. Tesis de pregrado, Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/17577>
-  Buranasompob, A., Rattanapanone, N., y Anprung, P. (2022). Efecto de la incorporación de salvado de trigo, salvado de arroz y cáscara de plátano en polvo en las propiedades de la masa y el pan. Frontier in Nutrition, 9, 1016717. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1016717>
-  CEANID, (2024). Resultado de la composición fisicoquímica y microbiológica de la cáscara de plátano verde (Musa paradisiaca). Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo. Facultad de Ciencia y Tecnología (UAJMS). <https://www.ua-jms.edu.bo/ceanid/>
-  Cabezas, M. E., Andrade, N.D. y Torres, S. J. (2018). Introducción a la metodología de la investigación científica. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. <https://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/15424/1/Introduccion%20a%20la%20Metodologia%20de%20la%20investigacion%20cientifica.pdf>
-  Chumo y Pin. (2023). Evaluación de la harina de cascara de plátano (Musa AAB Simmonds) como sustituto parcial del maíz en la elaboración de balanceado para pollos (Broiler). [tesis de pregrado, Escuela superior politécnica agropecuaria de Manabi Manuel Félix López]. Archivo digital. https://repositorio.espm.edu.ec/bitstream/42000/2230/1/TIC_AI54D.pdf
-  Gutiérrez y De la Vara, (2008). Análisis y diseño de experimentos. (2a ed.). McGraw-Hill. https://GC.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf

-  Gallardo, E. E. (2017). Metodología de la investigación. Universidad Continental. (p. 21). https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/4278/1/DO_UC_EG_MAI_UC0584_2018.pdf
-  Garcia, A., Pérez, M., y López, J. (2021). Aprovechamiento de la cáscara de plátano para promover la sustentabilidad en la cadena agroindustrial. Sustainability, 13(5),2701. <https://doi.org/10.3390/su13052701>
-  Giraldo, Z. A., Arevalo, P. A., Ferrera, S. A., Ferreira, S. P., Valdes, S. J. y Pavlak, M. C. (2010). Datos experimentales de la cinética de secado y del modelo matemático para la pulpa de cupuaçu. Ciencia y Tecnología de Alimentos. Volumen 30(1),179 – 182. <https://www.scielo.br/j/cta/a/HT4CM6wN7jD9Wnh7kSSHyhF/?format=pdf#:~:text=La%20cin%C3%A9tica%20del%20secado%20de%20un%20material%20no%20es%20m%C3%A1s,o%20las%20dimensiones%20del%20equipo>
-  Tamayo y Tamayo, (2003). El proceso de la investigación científica. (4ª edición). Editorial Limusa S.A. de C.V. (p. 47). https://www.gob.mx/cms/uploa/attachment/file227860/El_proceso_de_la_investigacion_cientifica_Mario_Tamayo.pdf
-  Maupoey, P. F., Andres, G. A., Barat, B. J. y Albors, S. A. (2016). Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Editorial Universitat politécnica de Valencia. https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/e8b523c5-4970-4ae6-b2a3-86f576e81359/TOC_4092_02_01.pdf?guest=true#:~:text=E-VAPORACI%C3%93N%20SUPERFICIAL%3A%20Cuando%20un%20producto,llamado%20deshidrataci%C3%B3n%20por%20aire%20caliente
-  Ramírez, R. E. (2024). Diseño experimental aplicado en Ingeniería de Alimentos. Carrera de Ingeniería de Alimentos-UAJMS. Tarija- Bolivia
-  Tecante, A. (2009). Fundamentos de secado, Extracción solido-líquido y Destilación. <https://kardauni08.wordpress.com/wp-content/uploads/2009/03/secado.pdf>