

“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**ELABORACIÓN DE PLÁTANO DESHIDRATADO MEDIANTE
SECADO CON AIRE CALIENTE**

POR:

ADRIANA ROSALBA RODRÍGUEZ ABÁN

Trabajo final de grado presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos

TARIJA-BOLIVIA

SEPTIEMBRE, 2019

DEDICATORIAS:

A mis padres Walter y Margarita que me brindaron su cariño y apoyo incondicional.

A toda mi familia y demás personas que de una u otra forma me apoyaron y ayudaron a lograr mi objetivo.

ÍNDICE

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

| | | |
|-------|---|---|
| 1.1 | Antecedentes | 1 |
| 1.1 | Justificación..... | 2 |
| 1.2 | Objetivos | 3 |
| 1.2.1 | Objetivo general | 3 |
| 1.2.2 | Objetivos específicos | 3 |
| 1.3 | Variables dependientes e independientes | 4 |
| 1.4 | Planteamiento del problema..... | 4 |
| 1.5 | Formulación del problema..... | 4 |
| 1.6 | Hipótesis | 5 |

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

| | | |
|-------|--|----|
| 2.1 | Origen del plátano | 6 |
| 2.2 | Taxonomía del plátano..... | 6 |
| 2.3 | El plátano | 7 |
| 2.3.1 | Generalidades del plátano | 7 |
| 2.4 | Composición fisicoquímica del plátano | 8 |
| 2.5 | Usos y aplicaciones del plátano | 9 |
| 2.5.1 | Anemia o fatiga | 9 |
| 2.5.2 | Reduce la tensión arterial..... | 9 |
| 2.5.3 | Combate el estreñimiento | 9 |
| 2.5.4 | Reduce la acidez..... | 9 |
| 2.5.5 | Disuelve los ácidos | 10 |
| 2.6 | El deshidratado como medio de conservación de los alimentos | 10 |
| 2.6.1 | Actividad del agua (Aw)..... | 10 |
| 2.7 | Deshidratado con aire caliente..... | 10 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.8 | Contenido de humedad de los sólidos | 11 |
| 2.8.1 | Humedad en base húmeda | 12 |
| 2.8.2 | Humedad en base seca | 12 |
| 2.8.3 | Humedad en equilibrio | 12 |
| 2.8.4 | Humedad ligada | 12 |
| 2.8.5 | Humedad no ligada | 12 |
| 2.8.6 | Humedad libre | 12 |
| 2.8.7 | Humedad relativa | 13 |
| 2.8.8 | Humedad absoluta | 13 |
| 2.9 | Variables que influyen en la velocidad de secado..... | 13 |
| 2.9.1 | Naturaleza del alimento | 13 |
| 2.9.2 | Temperatura del aire | 13 |
| 2.9.3 | Velocidad másica del aire | 14 |
| 2.9.4 | Humedad absoluta del aire | 14 |
| 2.9.5 | Tamaño de partícula del sólido | 14 |
| 2.10 | Pardeamiento enzimático..... | 15 |
| 2.10.1 | Mecanismo de la polifenol oxidasa (PPO) ¡Error! Marcador no definido. | |
| 2.10.2 | Control de la reacción de pardeamiento en los alimentos..... | 16 |
| 2.11 | Deshidratación osmótica en alimentos..... | 17 |
| 2.11.1 | Factores que afectan la deshidratación osmótica | 18 |
| 2.11.1.1 | Tipo de agente osmótico | 18 |
| 2.11.1.2 | Concentración de la solución osmótica | 18 |
| 2.11.1.3 | Temperatura de la solución osmótica | 18 |
| 2.11.1.4 | pH de la solución..... | 19 |
| 2.11.1.5 | Propiedades del soluto empleado | 19 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 2.11.1.6 | Agitación de la solución osmótica | 19 |
| 2.11.1.7 | Geometría y tamaño del producto..... | 19 |
| 2.11.1.8 | Relación masa de solución a masa de producto..... | 19 |
| 2.11.1.9 | Propiedades físicoquímicas del alimento | 20 |
| 2.11.1.10 | Presión de operación en la deshidratación osmótica | 20 |
| 2.11.2 | Ventajas de la deshidratación osmótica..... | 20 |
| 2.12 | Curvas de secado | 21 |
| 2.12.1 | Curva de contenido de humedad a través del tiempo | 21 |
| 2.12.2 | Curva de velocidad de secado en función al contenido de humedad | 24 |
| 2.13 | Secador de bandejas | 25 |

CAPÍTULO III DISEÑO EXPERIMENTAL

| | | |
|----------|---|----|
| 3.1 | Introducción..... | 26 |
| 3.2 | Equipos, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina..... | 26 |
| 3.2.1 | Equipos | 26 |
| 3.2.1.1. | Secador de bandejas | 26 |
| 3.2.1.2. | Generador de aire | 27 |
| 3.2.1.3. | Baño María..... | 27 |
| 3.2.1.4. | Envasadora al vacío..... | 27 |
| 3.2.2 | Instrumentos | 28 |
| 3.2.3.1. | Balanza de precisión | 28 |
| 3.2.3.2. | Mandolina regulable..... | 28 |
| 3.2.3.3. | Psicrómetro | 29 |
| 3.2.3.4. | Anemómetro digital | 29 |
| 3.2.3 | Material de laboratorio | 30 |
| 3.2.4 | Utensilios de cocina | 30 |

| | | |
|---|--|----|
| 3.3 | Materia prima e insumos alimentarios..... | 30 |
| 3.3.1 | Materia prima e insumos alimentarios..... | 31 |
| 3.4 | Descripción del proceso experimental para obtener plátano deshidratado | 31 |
| 3.4.1 | Plátano..... | 33 |
| 3.4.2 | Selección..... | 33 |
| 3.4.3 | Limpieza..... | 33 |
| 3.4.4 | Pelado..... | 33 |
| 3.4.5 | Cortado | 33 |
| 3.4.6 | Pre-tratamiento | 34 |
| 3.4.7 | Secado..... | 34 |
| 3.4.8 | Envasado | 34 |
| 3.4.9 | Almacenado | 35 |
| 3.5 | Metodología para la obtención de los resultados | 35 |
| 3.5.1 | Propiedades físicas del plátano | 35 |
| 3.5.2 | Propiedades físicoquímicas del plátano..... | 35 |
| 3.5.3 | Análisis microbiológico..... | 36 |
| 3.6 | Evaluación sensorial de los alimentos | 36 |
| 3.7 | Caracterización del producto final | 38 |
| 3.7.1 | Análisis de parámetros físicoquímicos del producto terminado | 38 |
| 3.7.2 | Análisis de parámetros microbiológicos del producto terminado | 38 |
| 3.8 | Diseño experimental | 39 |
| 3.8.1 | Diseño factorial de tres variables | 39 |
| CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES | | |
| 4.1 | Caracterización de la materia prima..... | 41 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 4.1.1 | Propiedades físicas del plátano | 41 |
| 4.1.2 | Análisis físicoquímico del plátano | 44 |
| 4.1.3 | Análisis microbiológico del plátano | 44 |
| 4.2 | Caracterización de las variables del proceso para la elaboración de plátano deshidratado | 45 |
| 4.2.1 | Elaboración de muestras preliminares de plátano deshidratado.... | 45 |
| 4.2.2 | Evaluación sensorial en la concentración de solución preliminar 1 para tiempo de 30 minutos | 46 |
| 4.2.2.1 | Estadístico de Tukey para el atributo color preliminar 1..... | 47 |
| 4.2.2.2 | Análisis de varianza para el atributo sabor preliminar 1 | 47 |
| 4.2.2.3 | Análisis de varianza para el atributo olor preliminar 1 | 48 |
| 4.2.2.4 | Estadístico de Tukey para el atributo textura preliminar 1 | 48 |
| 4.2.3 | Evaluación sensorial en la concentración de solución preliminar 1 para tiempo de 60 minutos | 49 |
| 4.2.3.1 | Análisis de varianza para el atributo color preliminar 1 | 50 |
| 4.2.3.2 | Estadístico de Tukey para el atributo sabor preliminar 1 | 51 |
| 4.2.3.3 | Análisis de varianza para el atributo olor preliminar 1 | 51 |
| 4.2.3.4 | Análisis de varianza para el atributo textura preliminar 1 | 52 |
| 4.2.4 | Variación de la concentración en la solución muestra preliminar 2 | 53 |
| 4.2.4.1 | Evaluación sensorial en la concentración solución preliminar 2 | 53 |
| 4.2.4.1.1 | Análisis de varianza para el atributo color preliminar 2..... | 54 |
| 4.2.4.1.2 | Análisis de varianza para el atributo sabor preliminar 2..... | 54 |
| 4.2.4.1.3 | Análisis de varianza para el atributo olor preliminar 2..... | 55 |
| 4.2.4.1.4 | Análisis de varianza para el atributo textura preliminar 2..... | 56 |
| 4.2.5 | Variación de concentración en la solución muestra preliminar 3 | 57 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 4.2.5.1 | Evaluación sensorial en la concentración solución preliminar 3 | 57 |
| 4.2.5.1.1 | Estadístico de Tukey para el atributo color preliminar 3..... | 58 |
| 4.2.5.1.2 | Estadístico de Tukey para el atributo sabor preliminar 3 | 58 |
| 4.2.5.1.3 | Estadístico de Tukey para el atributo olor preliminar 3 | 59 |
| 4.2.5.1.4 | Estadístico de Tukey para el atributo textura preliminar 3 | 60 |
| 4.2.6 | Variación de concentración en la solución muestra preliminar 4 | 61 |
| 4.2.6.1. | Evaluación sensorial en concentración de solución preliminar 4 | 61 |
| 4.2.6.1.1 | Estadístico de Tukey para el atributo color preliminar 4..... | 62 |
| 4.2.6.1.2 | Estadístico de Tukey para el atributo sabor preliminar 4 | 62 |
| 4.2.6.1.3 | Estadístico de Tukey para el atributo olor preliminar 4 | 63 |
| 4.2.6.1.4 | Estadístico de Tukey para el atributo textura preliminar 4 | 64 |
| 4.2.7 | Selección de muestra preliminar de plátano deshidratado..... | 64 |
| 4.2.8 | Evaluación sensorial para selección de muestra preliminar..... | 65 |
| 4.2.8.1 | Estadístico de Tukey para el atributo color selección de muestra preliminar | 67 |
| 4.2.8.2 | Estadístico de Tukey para el atributo sabor selección de muestra preliminar | 67 |
| 4.2.8.3 | Estadístico de Tukey para el atributo olor selección de muestra preliminar | 68 |
| 4.2.8.4 | Análisis de varianza para el atributo textura selección de muestra preliminar | 68 |
| 4.2.9 | Elección de muestra de referencia de plátano deshidratado..... | 69 |
| 4.2.9.1 | Evaluación sensorial para elección de muestra referencia | 69 |
| 4.2.9.1.1 | Estadístico de múltiples comparaciones para el atributo color selección de muestra referencia..... | 71 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 4.2.9.1.2 | Estadístico de múltiples comparaciones para el atributo olor selección de muestra referencia | 71 |
| 4.2.9.1.3 | Estadístico de múltiples comparaciones para el atributo sabor selección de muestra referencia | 71 |
| 4.2.9.1.4 | Estadístico de múltiples comparaciones para el atributo textura selección de muestra referencia | 72 |
| 4.2.10 | Comparacion de producto final con muestra referencia | 73 |
| 4.2.10.1 | Evaluación sensorial del atributo sabor para el producto final | 73 |
| 4.2.10.2 | Evaluación sensorial del atributo textura para el producto final | 73 |
| 4.3 | Diseño experimental en el proceso de secado para obtener rodajas de plátano..... | 74 |
| 4.3.1 | Análisis de varianza del diseño experimental A*B*C en el proceso de secado para obtener plátano deshidratado | 75 |
| 4.3.2 | Significancia de factor (B) e interacción (AB) en el diseño experimental..... | 76 |
| 4.4 | Cinética de secado para las rodajas de plátano deshidratado | 77 |
| 4.5 | Variación en los factores de deshidratado de plátano..... | 79 |
| 4.5.1. | Influencia del tipo de corte a 45 °C en la variación del contenido de humedad de las rodajas de plátano..... | 80 |
| 4.5.2. | Influencia del tipo de corte a 55 °C en la variación del contenido de humedad de las rodajas de plátano..... | 87 |
| 4.6 | Caracterización del producto final | 93 |
| 4.6.1 | Análisis fisicoquímico del plátano deshidratado obtenido | 93 |
| 4.6.2 | Análisis microbiológico del plátano deshidratado..... | 93 |
| 4.6.3 | Variación de peso del producto almacenado | 94 |
| 4.8 | Balance de materia para el proceso de obtención de plátano deshidratado..... | 95 |
| 4.8.1 | Balance de materia en el proceso de pelado del plátano..... | 96 |

| | | |
|--|---|-----|
| 4.8.2 | Balance de materia en el proceso de cortado del plátano en rodajas | 97 |
| 4.8.3 | Balance de materia en la preparación de la solución azucarada | 98 |
| 4.8.4 | Balance de materia en el pre-tratamiento | 99 |
| 4.8.5 | Balance de materia en el proceso de secado | 101 |
| 4.8.6 | Resumen general del balance de materia para la obtención de plátano deshidratado..... | 104 |
| 4.9 | Balance de energía en el proceso de obtencion de plátano deshidratado | 105 |
| 4.9.1 | Balance de energía en el proceso de pre-tratamiento | 105 |
| 4.9.2 | Balance de energía en el proceso de secado | 106 |
| CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | |
| 5.1. | Conclusiones..... | 109 |
| 5.2. | Recomendaciones | 111 |

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

| | | |
|------------|--|----|
| Tabla 1.1 | Producción de plátano y distribución por departamentos | 2 |
| Tabla 2.1 | Composición fisicoquímica del plátano | 8 |
| Tabla 3.1 | Material de laboratorio | 30 |
| Tabla 3.2 | Utencilios de cocina | 30 |
| Tabla 3.3 | Insumos alimentarios | 31 |
| Tabla 3.4 | Propiedades físicas del plátano | 35 |
| Tabla 3.5 | Propiedades fisicoquímicas del plátano..... | 36 |
| Tabla 3.6 | Propiedades microbiológicas del plátano..... | 36 |
| Tabla 3.7 | Evaluaciones sensoriales realizadas en la elaboración de plátano deshidratado | 37 |
| Tabla 3.8 | Propiedades fisicoquímicas del plátano deshidratado | 38 |
| Tabla 3.9 | Propiedades microbiológicas del plátano deshidratado | 38 |
| Tabla 3.10 | Niveles de variación de los factores..... | 39 |
| Tabla 3.11 | Matriz de variables para la elaboración de plátano deshidratado | 40 |
| Tabla 4.1 | Propiedades físicas del plátano semi-maduro con cáscara y sin cáscara | 42 |
| Tabla 4.2 | Propiedades físicas del plátano maduro con cáscara y sin cáscara | 43 |
| Tabla 4.3 | Análisis fisicoquímico del plátano | 44 |
| Tabla 4.4 | Análisis microbiológico del plátano | 44 |
| Tabla 4.5 | Prueba Tukey para el atributo color | 47 |
| Tabla 4.6 | Análisis de varianza para el atributo sabor | 47 |
| Tabla 4.7 | Análisis de varianza para el atributo olor | 48 |
| Tabla 4.8 | Prueba Tukey para el atributo textura | 48 |
| Tabla 4.9 | Análisis de varianza para el atributo color | 50 |

| | | |
|------------|---|----|
| Tabla 4.10 | Prueba Tukey para el atributo sabor..... | 51 |
| Tabla 4.11 | Análisis de varianza para el atributo olor | 51 |
| Tabla 4.12 | Análisis de varianza para el atributo textura | 52 |
| Tabla 4.13 | Análisis de varianza para el atributo color | 54 |
| Tabla 4.14 | Análisis de varianza para el atributo sabor | 55 |
| Tabla 4.15 | Análisis de varianza para el atributo olor | 55 |
| Tabla 4.16 | Análisis de varianza para el atributo textura | 56 |
| Tabla 4.17 | Prueba Tukey para el atributo color | 58 |
| Tabla 4.18 | Prueba Tukey para el atributo sabor..... | 59 |
| Tabla 4.19 | Prueba Tukey para el atributo olor..... | 59 |
| Tabla 4.20 | Prueba Tukey para el atributo textura..... | 60 |
| Tabla 4.21 | Prueba Tukey para el atributo color..... | 62 |
| Tabla 4.22 | Prueba Tukey para el atributo sabor..... | 63 |
| Tabla 4.23 | Prueba Tukey para el atributo olor..... | 63 |
| Tabla 4.24 | Prueba Tukey para el atributo textura..... | 64 |
| Tabla 4.25 | Prueba Tukey para el atributo color..... | 67 |
| Tabla 4.26 | Prueba Tukey para el atributo sabor..... | 67 |
| Tabla 4.27 | Prueba Tukey para el atributo olor..... | 68 |
| Tabla 4.28 | Análisis de varianza para el atributo textura | 68 |
| Tabla 4.29 | Prueba múltiples comparaciones para el atributo color | 71 |
| Tabla 4.30 | Prueba múltiples comparaciones para el atributo olor | 71 |
| Tabla 4.31 | Prueba múltiples comparaciones del atributo sabor | 72 |
| Tabla 4.32 | Prueba múltiples comparaciones para el atributo textura | 72 |
| Tabla 4.33 | Contenido de humedad en base seca del proceso de secado de rodajas de plátano | 75 |
| Tabla 4.34 | Análisis de varianza del diseño experimental A*B*C en el proceso de secado para obtener plátano deshidratado | 75 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Tabla 4.35 | Resultado del contenido de humedad en el proceso de secado para obtener plátano deshidratado..... | 77 |
| Tabla 4.36 | Control de la variación del contenido de humedad en el proceso de secado..... | 80 |
| Tabla 4.37 | Variación del contenido de humedad en función al tipo de corte para las rodajas de plátano a 45 °C pre-tratamiento 90 minutos | 81 |
| Tabla 4.38 | Variación del contenido de humedad en función al tipo de corte para las rodajas de plátano a 45 °C pre-tratamiento 120 minutos | 83 |
| Tabla 4.39 | Variación del contenido de humedad en función al tipo de corte para las rodajas de plátano a 45 °C pre-tratamiento 150 minutos | 85 |
| Tabla 4.40 | Variación del contenido de humedad en función al tipo de corte para las rodajas de plátano a 55 °C pre-tratamiento 90 minutos | 87 |
| Tabla 4.41 | Variación del contenido de humedad en función al tipo de corte para las rodajas de plátano a 55 °C pre-tratamiento 120 minutos | 89 |
| Tabla 4.42 | Variación del contenido de humedad en función al tipo de corte para las rodajas de plátano a 55 °C pre-tratamiento 150 minutos | 81 |
| Tabla 4.43 | Análisis fisicoquímico del plátano deshidratado..... | 93 |
| Tabla 4.44 | Análisis microbiológico del plátano deshidratado..... | 94 |
| Tabla 4.45 | Propiedades psicométricas del aire | 103 |

INDICE DE FIGURAS

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 2.1 | Plátano Musa paradisiaca..... | 6 |
| Figura 2.2 | Mecanismo del secado de alimentos | 11 |
| Figura 2.3 | Reacciones catalizadas por la polifenol oxidasa..... | 15 |
| Figura 2.4 | Mecanismo de la deshidratación osmótica en alimentos | 17 |
| Figura 2.5 | Contenido de humedad vs tiempo | 21 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 2.6 | Periodo de velocidad de secado de A-B | 22 |
| Figura 2.7 | Periodo velocidad de secado constante de B-C | 22 |
| Figura 2.8 | Periodo velocidad de secado decreciente de C-D | 23 |
| Figura 2.9 | Periodo de velocidad de secado decreciente de D-E | 23 |
| Figura 2.10 | Velocidad de secado vs contenido de humedad | 24 |
| Figura 2.11 | Esquema del secador de bandejas | 25 |
| Figura 3.1 | Secador de bandejas | 26 |
| Figura 3.2 | Generador de aire | 27 |
| Figura 3.3 | Baño María | 27 |
| Figura 3.4 | Envasadora al vacío | 28 |
| Figura 3.5 | Balanza de precisión | 28 |
| Figura 3.6 | Mandolina regulable | 29 |
| Figura 3.7 | Psicrómetro | 29 |
| Figura 3.8 | Anemómetro digital | 29 |
| Figura 3.9 | Plátano (Musa paradisiaca) | 31 |
| Figura 3.10 | Proceso de obtención de plátano deshidratado de la variedad Musa paradisiaca | 32 |
| Figura 3.11 | Algoritmo de variables para la elaboración de plátano deshidratado | 40 |
| Figura 4.1 | Rodajas de plátano | 41 |
| Figura 4.2 | Elaboración de muestras preliminares de plátano deshidratado | 45 |
| Figura 4.3 | Caja y bigote en la concentración de la solución preliminar 1 | 46 |
| Figura 4.4 | Caja y bigote en la concentración de la solución preliminar 1 | 49 |
| Figura 4.5 | Caja y bigote en la concentración de la solución preliminar 2 | 53 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 4.6 | Caja y bigote en la concentración de la solución preliminar 3 | 57 |
| Figura 4.7 | Caja y bigote en la concentración de la solución preliminar 4 | 61 |
| Figura 4.8 | Variación en la concentración de la solución para selección de muestra preliminar | 65 |
| Figura 4.9 | Caja y bigotes para selección de muestra preliminar..... | 66 |
| Figura 4.10 | Caja y bigotes para selección de muestra referencia | 70 |
| Figura 4.11 | Porcentaje de aceptación del atributo sabor para producto final | 73 |
| Figura 4.12 | Porcentaje de aceptación del atributo textura para producto final | 74 |
| Figura 4.13 | Factor (B) tipo de espesor vs. Humedad promedio..... | 76 |
| Figura 4.14 | Interacción (AB) tiempo-espesor vs. Humedad promedio..... | 76 |
| Figura 4.15 | Cinética en el proceso de secado para obtener plátano deshidratado | 78 |
| Figura 4.16 | Variación del contenido de humedad en función a los 2 tipos de corte a 45 °C y pre-tratamiento de 90 minutos | 82 |
| Figura 4.17 | Variación del contenido de humedad en función a los 2 tipos de corte a 45 °C y pre-tratamiento de 120 minutos | 84 |
| Figura 4.18 | Variación del contenido de humedad en función a los 2 tipos de corte a 45 °C y pre-tratamiento de 150 minutos | 86 |
| Figura 4.19 | Variación del contenido de humedad en función a los 2 tipos de corte a 55 °C y pre-tratamiento de 90 minutos | 88 |
| Figura 4.20 | Variación del contenido de humedad en función a los 2 tipos de corte a 55 °C y pre-tratamiento de 120 minutos | 90 |
| Figura 4.21 | Variación del contenido de humedad en función a los 2 tipos de corte a 55 °C y pre-tratamiento de 150 minutos | 92 |
| Figura 4.22 | Variación del peso según el tipo de envase..... | 94 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Figura 4.23 | Balance de materia para el proceso de obtencion de platano deshidratado..... | 95 |
| Figura 4.24 | Balance de materia en el proceso de pelado..... | 97 |
| Figura 4.25 | Balance de materia en el proceso de cortado en rodajas | 98 |
| Figura 4.26 | Balance de materia en la preparación de la solución azucarada | 99 |
| Figura 4.27 | Balance de materia en el pre-tratamiento | 100 |
| Figura 4.28 | Balance de materia en el proceso de secado | 101 |
| Figura 4.29 | Resumen general del balance de materia para la obtención de plátano deshidratado | 105 |
| Figura 4.30 | Balance de energía en el proceso de secado de rodajas de plátano | 106 |