

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Desarrollo de una harina de banano verde (*Musa paradisiaca*) de
descarte del área de San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez**

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por
Andrea Bonifasi Sánchez
para optar por el grado académico de Licenciada en Ingeniería en Ciencias de los
Alimentos

Guatemala
2023

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Desarrollo de una harina de banano verde (*Musa paradisiaca*) de
descarte del área de San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez**

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por
Andrea Bonifasi Sánchez
para optar por el grado académico de Licenciada en Ingeniería en Ciencias de los
Alimentos

Guatemala
2023

Vo. Bo. :



(f) _____

MSc. María Patricia Palacios Recinos de Palomo

Tribunal Examinador:



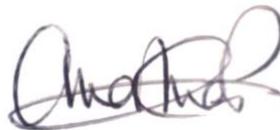
(f) _____

MSc. María Patricia Palacios Recinos de Palomo



(f) _____

MSc. Ana Silvia Colmenares Samayoa de Ruiz



(f) _____

Lcda. Ana María Paz Pierri

Fecha de aprobación: Guatemala 5 de diciembre de 2023

DEDICATORIA

- Jaime Bonifasi y Mariana Sánchez de Bonifasi, por haberme dado desde pequeña todo su cariño y apoyo. Por estar presentes y celebrar conmigo cada uno de mis logros, por motivarme a seguir adelante y a trabajar duro. Por haberme guiado, pero también por confiar en mí para tomar mis propias decisiones.
- Sebastián Bonifasi, porque ha sido mi apoyo y motivación siempre. Por acompañarme, aconsejarme y quererme, pero también por enseñarme a que somos capaces de lograr nuestros sueños con esfuerzo y dedicación.
- Nani, porque sé que estaría orgullosa de este logro y lo celebra conmigo desde lejos. Por haberme dado desde pequeña el cariño más grande, por preocuparse por mí siempre y por haber sido una parte tan importante de mi vida.
- Tita, por haberme dado tanto cariño y apoyo siempre. Por estar pendiente de mí, celebrar mis logros y alegrarnos tanto la vida a las personas que la rodeamos.
- Patricia Palacios de Palomo, por haberme asesorado en este proyecto, pero también por su cariño y apoyo incondicional en estos cinco años de carrera.
- Ana Silvia Colmenares de Ruiz, por su apoyo incondicional a los estudiantes durante estos cinco años de la carrera.
- Dominique Anleu, por haber trabajado conmigo en este proyecto y acompañarme cuando más lo necesitaba. Por estar dispuesta a ayudarme, apoyarme y escucharme en estos años de amistad.

- Mariness Jurado y Valeria Herrera, por estar para mí en todo momento. Por siempre ayudarme, aconsejarme y motivarme en estos años de amistad.
- Sebastián Castillo, por acompañarme, motivarme y escucharme durante este año de trabajo.
- Harvey Pacay y Edwinth Rodríguez, por haberme apoyado en los análisis funcionales, fisicoquímicos y nutricionales, pero también por haber hecho más agradable mi experiencia en el laboratorio.
- Familia y amigos, por su apoyo y cariño durante todos estos años.

CONTENIDO

LISTADO DE CUADROS.....	III
LISTADO DE FIGURAS.....	VI
RESUMEN	VIII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
A. Aspectos generales del banano.....	3
B. Banano de descarte.....	5
C. Finca El Zambo.....	10
D. Harinas como alternativas alimentarias.....	11
III. JUSTIFICACIÓN	14
IV. OBJETIVOS.....	16
A. Objetivo general.....	16
B. Objetivos específicos	16
V. MARCO TEÓRICO.....	17
A. Propiedades del banano.....	17
B. Pardeamiento enzimático	23
C. Métodos de almacenamiento post-cosecha	24
D. Tratamientos previos.....	24
E. Secado	25
F. Caracterización de la harina	29
VI. METODOLOGÍA.....	30
A. Selección de materia prima	30
B. Lavado.....	30
C. Corte.....	30
D. Tratamientos previos.....	31
E. Secado	31
F. Molienda	33
G. Tamizado.....	33
H. Diagrama de flujo del proceso	34
I. Caracterización de la harina	34
VII. RESULTADOS	42
VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	52

A.	Rendimiento	52
B.	Índices de absorción de agua y aceite	53
C.	Actividad de agua.....	54
D.	Granulometría	54
E.	Colorimetría	55
F.	pH y acidez titulable.....	57
G.	Sólidos solubles.....	58
H.	Densidad.....	58
I.	Análisis proximal	59
J.	Selección del método de secado para la producción de harina de banano verde de descarte	63
IX.	CONCLUSIONES.....	65
X.	RECOMENDACIONES	66
XI.	BIBLIOGRAFÍA.....	67
XII.	ANEXOS	76

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Banano: superficie cultivada, producción y exportación de las compañías bananeras que operan en la república, según mes. Año 2020.....	4
Cuadro 2. Criterios de calidad del banano para exportación	5
Cuadro 3. Defectos más comúnmente encontrados en el banano	6
Cuadro 4. Composición nutricional de harina de papa en una muestra de 100g de producto	12
Cuadro 5. Valor nutritivo de la harina de banano (100g de alimento).....	13
Cuadro 6. Resumen de cambios en la composición del banano durante la maduración....	19
Cuadro 7. Resumen de cambios en los carbohidratos del banano durante la maduración	19
Cuadro 8. Índices de madurez del banano	19
Cuadro 9. Cambios en los carbohidratos de banano durante la maduración	21
Cuadro 10. Tipos de molinos y su funcionamiento	28
Cuadro 11. Concentración y tiempo de tratamiento con ácido para evitar pardeamiento enzimático	31
Cuadro 12. Rendimiento de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	42
Cuadro 13. Índice de absorción de agua de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	42
Cuadro 14. Índice de absorción de aceite de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	42
Cuadro 15. Actividad de agua de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	42
Cuadro 16. Análisis granulométrico de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	43
Cuadro 17. Análisis colorimétrico de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	44
Cuadro 18. Determinación de pH de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	44
Cuadro 19. Determinación de acidez titulable de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	45
Cuadro 20. Determinación de grados Brix de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	45
Cuadro 21. Determinación de densidad de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	45
Cuadro 22. Análisis proximal de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	45
Cuadro 23. Matriz de decisión de características funcionales y fisicoquímicas de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado.....	48
Cuadro 24. Matriz de decisión de propiedades nutricionales de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado.....	49
Cuadro 25. Análisis de costos de producción de un kilogramo de harina de banano verde de rechazo obtenida por deshidratación por convección	50
Cuadro 26. Análisis de costos de producción de un kilogramo de harina de banano verde de rechazo obtenida por blanqueo y deshidratación por convección.....	50

Cuadro 27. Análisis de costos de producción de un kilogramo de harina de banano verde de rechazo obtenida por secado por espuma	51
Cuadro 28. Análisis de costos de producción de un kilogramo de harina de banano verde de rechazo obtenida por secado por tambor	51
Cuadro 29. Datos utilizados para calcular el rendimiento de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado.....	76
Cuadro 30. Datos utilizados para calcular la absorción de agua de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	76
Cuadro 31. Datos utilizados para calcular la absorción de aceite de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	76
Cuadro 32. Datos utilizados para la actividad de agua de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado.....	77
Cuadro 33. Análisis granulométrico de harina secada con deshidratado por convección .	77
Cuadro 34. Análisis granulométrico de harina secada por blanqueo y deshidratado por convección	77
Cuadro 35. Análisis granulométrico de harina secada con espuma	78
Cuadro 36. Análisis granulométrico de harina secada con tambores	78
Cuadro 37. Datos utilizados para análisis colorimétrico de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado.....	78
Cuadro 38. Datos utilizados para la determinación del pH de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado.....	78
Cuadro 39. Datos utilizados para la determinación de acidez titulable de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	79
Cuadro 40. Datos utilizados para la determinación de grados Brix de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	79
Cuadro 41. Datos utilizados para la determinación de la densidad de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	80
Cuadro 42. Datos utilizados para la determinación de humedad de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	80
Cuadro 43. Datos utilizados para la determinación de cenizas de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	80
Cuadro 44. Datos utilizados para la determinación de grasa de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	81
Cuadro 45. Datos utilizados para la determinación de proteína de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	81
Cuadro 46. Datos utilizados para la determinación de fibra cruda de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	82
Cuadro 47. Datos utilizados para la determinación de fibra dietética de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	82
Cuadro 48. Determinación de polifenoles en banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	83
Cuadro 49. Determinación de antioxidantes en banano verde de rechazo evaluando el método de deshidratado por convección	83
Cuadro 50. Determinación de antioxidantes en banano verde de rechazo evaluando el método de blanqueo y deshidratado por convección	83
Cuadro 51. Datos de secador de tambor utilizados para calcular la capacidad calorífica del equipo.....	84

Cuadro 52. Datos de caldera 140 BHP utilizados para calcular el costo de la operación de secado por tambor	84
Cuadro 53. Datos de combustible utilizados para calcular el costo de la operación de secado por tambor	84
Cuadro 54. Cálculos del costo de combustible para la producción de harina por secado de tambor	85

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Zonas de cultivo del banano	3
Figura 2. Localización geográfica del Municipio de San Francisco Zapotitlán, departamento de Suchitepéquez.....	10
Figura 3. Patrón de respiración del banano.....	20
Figura 4. Escala de Von Loesecke para medir la maduración en el banano.....	21
Figura 5. Comportamiento del pH durante la maduración del banano	22
Figura 6. Acción del polifenol oxidasa sobre compuestos fenólicos	23
Figura 7. Cortadora Hobart modelo FP100.....	30
Figura 8. Deshidratadora Ivation modelo IVFD60RB	31
Figura 9. Batidora KitchenAid Artisan modelo KSM150PSOB	32
Figura 10. Secador de tambor Buflovak Laboratory Atmospheric Double Drum Dryer ..	32
Figura 11. Procesador Cuisinart modelo ECH-4SV	33
Figura 12. Ciclón FOSS modelo Cyclotec 1093.....	33
Figura 13. Prueba de tamizado en harina de banano verde.....	35
Figura 14. Colorímetro HunterLab	35
Figura 15. Potenciómetro Hanna Instruments modelo HI 981034	36
Figura 16. Material de titulación para determinación de acidez titulable	36
Figura 17. Refractómetro Hanna Instruments modelo HI 96801.....	37
Figura 18. Medidor de actividad de agua AquaLab.....	38
Figura 19. Determinación de porcentaje de humedad para muestras de harina de banano verde.....	39
Figura 20. Calcinación de muestras de harina de banano verde para determinación del contenido de ceniza.....	39
Figura 21. Preparación de muestras de harina de banano verde para determinación del contenido de grasa.....	39
Figura 22. Método de Soxhlet utilizado para la determinación del contenido de grasa en harina de banano verde	40
Figura 23. Método Kjeldahl para la determinación del contenido de proteína en harina de banano verde	40
Figura 24. Continuación del Método Kjeldahl para la determinación del contenido de proteína en harina de banano verde.....	40
Figura 25. Titulación de muestras de harina de banano verde con ácido clorhídrico para la determinación del contenido de proteína	41
Figura 26. Proceso para determinación del contenido de fibra cruda en harina de banano verde.....	41
Figura 27. Proceso para determinación del contenido de fibra dietética en harina de banano verde	41
Figura 28. Distribución de tamaño de partícula de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	43
Figura 29. Composición nutricional de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	46
Figura 30. Composición nutricional de harina de banano verde de rechazo secada por el método de deshidratación por convección	46
Figura 31. Composición nutricional de harina de banano verde de rechazo secada por el método de blanqueo y deshidratación por convección	47

Figura 32. Composición nutricional de harina de banano verde de rechazo secada por el método de secado por espuma	47
Figura 33. Composición nutricional de harina de banano verde de rechazo secada por el método de secado por tambor	48
Figura 34. Puntuación de matriz de decisión de características funcionales y fisicoquímicas de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado.....	49
Figura 35. Puntuación de matriz de decisión de propiedades nutricionales de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado	50

RESUMEN

El presente trabajo de graduación tuvo como objetivo el desarrollo de una harina de banano (*Musa paradisiaca*) verde de descarte como oportunidad de crecimiento para los países productores de banano como Guatemala. Se evaluaron cuatro procesos de secado para la producción de la harina: deshidratado por convección, blanqueo y deshidratado por convección, secado por espuma y secado por tambor. Las harinas se caracterizaron funcional, fisicoquímica y nutricionalmente para determinar cuál de ellos se adecuaba más al producto. Finalmente, se realizó un análisis de costos para definir el método más conveniente, considerando tiempos de proceso, requerimiento energético y consumo de materiales e insumos.

Se obtuvieron harinas de banano verde de descarte que pueden ser utilizadas como harinas multipropósito porque aportan a las características funcionales, fisicoquímicas, organolépticas y valor nutricional de los alimentos. La caracterización de la harina de banano verde permitió determinar que sus características son adecuadas según su tipo de producto. Además, que contribuye a una alimentación saludable y equilibrada y mejora la salud digestiva de los consumidores.

De los procesos de secado evaluados, se determinó que el método de deshidratado por convección fue el más adecuado en términos de características funcionales y fisicoquímicas de la harina porque obtuvo un puntaje más alto en el análisis y comparación de sus características con otros productos similares. En términos de propiedades nutricionales, todas las harinas presentaron el mismo puntaje porque los valores determinados coincidieron con los de otros productos semejantes. En términos de costos de producción, también se seleccionó el método de deshidratado por convección por ser el más económico.

I. INTRODUCCIÓN

Guatemala es uno de los líderes mundiales en la exportación de banano, después de Ecuador y Filipinas. El principal problema que presenta el cultivo es su alto porcentaje de rechazo, ya que los criterios establecidos para la exportación son sumamente estrictos. La fruta se puede rechazar por defectos de tamaño, forma y color, pero también por daños físicos, plagas y enfermedades. El banano de rechazo generalmente se comercializa internamente en los países productores, para consumo humano y animal, pero el banano de rechazo que no se utiliza para estos fines se desaprovecha (Ortega, 2016).

El banano verde está compuesto principalmente por agua, carbohidratos, fibra y una menor cantidad de proteínas, minerales y grasa. La pulpa de banano presenta una variedad de propiedades funcionales, ya que favorece a los músculos, beneficia a los huesos, reduce la presión arterial y el riesgo de enfermedades cerebrovasculares. La cáscara de banano usualmente se trata como residuo, pero puede utilizarse en distintos alimentos por sus propiedades físicas y químicas. Es rica en fibra dietética, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados y potasio, además de metanol, etanol, pectina y algunas enzimas. Además, se considera una fuente potencial de antioxidantes y polifenoles, los cuales poseen propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas, antialérgicas y anticancerígenas (Blasco y Gómez, 2014). El banano verde contiene grandes cantidades de almidón, celulosa, hemicelulosa y lignina, por lo que una de las estrategias para aprovecharlo incluye la producción de harina. La harina de banano verde de rechazo ha sido probada como alternativa alimentaria, ya que tiene buen potencial para la elaboración o mejoramiento de alimentos (Ortega, 2016).

El desarrollo de una harina a partir de banano verde de descarte representa una oportunidad de crecimiento para países productores de banano, de industrialización en el área bananera y de disminución de los niveles de contaminación en el mundo. Es un producto que aporta a las características funcionales, fisicoquímicas, organolépticas y valor nutricional de los alimentos. Puede utilizarse en productos horneados, instantáneos, bebidas, sopas, salsas y premezclas, por su buena capacidad de absorción de agua y aceite,

tamaño de partícula y color. También puede sustituir parcial o totalmente la harina de trigo en distintos productos porque no contiene gluten, lo cual la hace adecuada como alternativa alimentaria.

En el presente trabajo se evalúan cuatro métodos de secado para la producción de harina de banano verde de rechazo con el fin de seleccionar el más adecuado para el producto. Se presentan los resultados de los análisis funcionales, fisicoquímicos y nutricionales realizados en las harinas, así como el análisis de costos realizados por proceso de secado tomando en cuenta tiempos de proceso, requerimiento energético y consumo de materiales e insumos. Todo esto acompañado de información general sobre el banano verde de descarte, así como la importancia de su aprovechamiento. También se incluye el procedimiento experimental e información adicional.

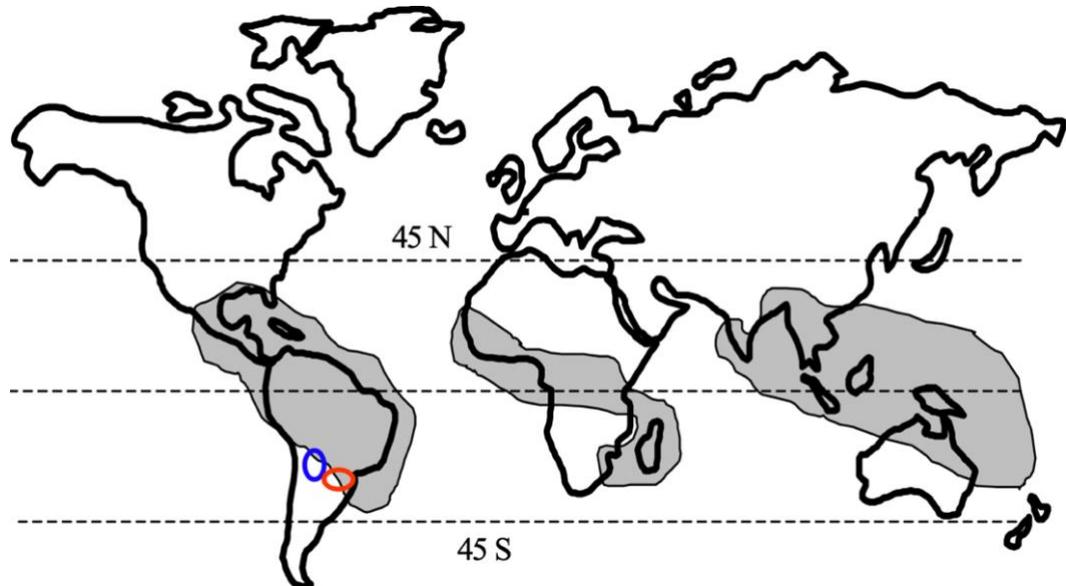
II. ANTECEDENTES

A. Aspectos generales del banano

1. Origen y clasificación taxonómica

El banano es una planta herbácea monocotiledónea de porte alto proveniente del cruce entre *Musa acuminata* Colla (genoma A) y *Musa balbisiana* Colla (genoma B), ambas pertenecientes a la familia *Musaceae* originaria del sudeste de Asia. Las variedades que se cultivan son Cavendish, Gros Michel y Valery, pero comercialmente se les conoce con la marca de grandes multinacionales como lo son Dole, Chiquita, Del Monte, entre otros (Gómez, 2017). Los principales productores de banano son los países de Sudamérica, Centroamérica y Asia y España (Islas Canarias). Las variedades más importantes y conocidas cultivadas en Guatemala y en otros países de Centroamérica son las siguientes: Gran Enano, Gros Michel y Cavendish, Banano de Oro, Banano Manzana, Banano Morado y Banano Majunche (Santiago, 2005).

Figura 1. Zonas de cultivo del banano



Fuente: (Fagiani y Tapia, 2007)

2. Condiciones agroecológicas

El banano crece en climas cálidos y húmedos. Sus temperaturas óptimas de crecimiento oscilan entre los 25 y 30 grados centígrados. Su ciclo de cultivo de 8-18 meses.

Requiere una precipitación anual de 1200 mm como mínimo y 2000 como máximo. Los requerimientos de agua para el cultivo suelen ser altos, alrededor de 150-180 mm/mes, y se puede cumplir en función de: provisión (lluvia o riego) y capacidad de retención de agua en el suelo. En cuanto a los requerimientos de suelo, estos deben ser drenados y aireados, además de ricos en nutrientes. Se deben evitar suelos arcillosos, arenosos y de textura muy gruesa (Fagiani y tapia, 2007).

3. Situación actual del cultivo

Según estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), Guatemala se encuentra posicionado como el tercer exportador mundial de banano, detrás de Ecuador y Filipinas, al suministrar 13% de la demanda. El país vende aproximadamente 2,319,000 toneladas, de las 19.2 millones que se comercializan en todo el mundo. Datos de la Asociación de Productores Independientes de Banano (APIB) indican que el 95.4% de la producción nacional que no es de rechazo se envía a Estados Unidos, y el restante 4.6% se destina a la Unión Europea y Asia (Editor DCA, 2022). En el año 2020 fueron producidos 5,426,764 quintales de banano, de los cuales 90.6% fueron destinados para exportación.

Cuadro 1. Banano: superficie cultivada, producción y exportación de las compañías bananeras que operan en la república, según mes. Año 2020

Mes	Superficie cultivada (hectáreas)			Producción (quintales)	Exportación (quintales)
	En producción				
	En plantía	Propia	Otras fincas		
Total	6,237	3,997	1,900	5,426,764	4,917,227
Enero	5,993	3,268	1,805	479,091	476,837
Febrero	5,993	3,541	1,816	508,996	569,714
Marzo	5,994	3,735	1,816	502,125	611,756
Abril	5,994	3,997	1,828	409,563	535,857
Mayo	5,994	3,789	1,841	393,671	395,638
Junio	6,004	3,487	1,860	571,743	456,319
Julio	6,041	3,087	1,880	557,365	334,802
Agosto	6,165	3,159	1,900	620,064	339,107
Septiembre	6,165	3,147	1,900	587,010	434,937
Octubre	6,165	3,079	1,900	477,580	467,462
Noviembre	6,165	1,231	760	199,630	182,353
Diciembre	6,237	1,057	438	119,927	112,444

Fuente: (INE, 2020)

La exportación de banano generó US \$936,748,500 en el año 2022, cantidad que supera a lo generado por el azúcar y el cardamomo, según cifras del Banco de Guatemala (INE, 2020).

B. Banano de descarte

Uno de los principales problemas que presenta el cultivo de banano es el alto porcentaje de descarte. La fruta de descarte, o rechazo, se conoce como toda aquella fruta que no cumple con las condiciones apropiadas para ser exportada, de acuerdo con los criterios establecidos (Salazar, 2004). Los defectos más comunes son los siguientes: de tamaño (relacionados con la longitud mínima, máxima y promedio); defectos superficiales (manchas, lesiones superficiales por raspaduras, golpes y heridas ocasionadas durante el proceso productivo y transporte); y defectos de forma y de color. De igual manera, las plagas, enfermedades, daños físicos y cicatrices (Salazar, 2004).

Cuadro 2. Criterios de calidad del banano para exportación

Mercado	Europa	Canadá	Rusia	EEUU	China	Argentina
Tipo de caja	22xU	22xU	22xU	22xU	208	22xU CS
Tipo de empaque	Al vacío	Politubo	Al vacío	Politubo	Al vacío	Al vacío
Longitud mínima	8''	8''	8''	8''	8''	8''
Peso Neto (lbs.)	43	41	43	43	33	46
Peso Bruto (lbs.)	46	44	46	46	33	49
Mercado	Europa	Canadá	Rusia	EEUU	China	Argentina
Manos con saneos	2 (1/mano)	2 (1/mano)	2 (1/mano)	2 (1/mano)	2 (1/mano)	2 (1/mano)
Número de mano del racimo	-	-	-	-	3, 4 y 5	-
Manos/Caja	16	16	16	16	16	16

Fuente: (Gómez, 2017)

1. Tipos de defectos

En el Cuadro 3 se describen algunos de los defectos más comúnmente encontrados en bananos según el Manual de Calidad: Defectos y Tolerancias de Dole (Dole, 2010).

Cuadro 3. Defectos más comúnmente encontrados en el banano

Categoría	Defecto	Descripción	Imagen
Condición de fruta	Fruta pobre	Fruta de la máxima edad para ser cosechada que no alcanza una calibración adecuada para ser empacada.	
	Dedo corto	La longitud de los dedos del gajo no cumple con el mínimo especificado.	
	Bajo calibre	La fruta no alcanza el calibre mínimo establecido.	
	Sobre calibre	La fruta supera el calibre máximo establecido.	
Campo	Látex de saneo	Manchas negras secas de látex.	
	Golpe de punta	Raspaduras o cortes de color negro o verde oscuro en la cáscara del banano.	
	Corte de cuchillo	Cortes longitudinales, diagonales, transversales, profundos o falsos que afectan solamente la cáscara del banano.	

Categoría	Defecto	Descripción	Imagen
Campo	Daño por transporte-fricción	Daños superficiales que ocurren por mala colocación en la bolsa para la protección de la fruta en el campo y durante el transporte a la empacadora.	
	Quema de sol amarilla	Coloración con diferente intensidad en la punta de los dedos de la fruta.	
	Quema de sol negra	Áreas necrosadas con halo amarillo en las puntas de los dedos. Pueden causar maduración prematura.	
	Quema química	Depende del químico responsable de la quema, pero generalmente son manchas negras con halo clorótico.	
Fisiológicos	Dedo malformado	Dedos con arreglo irregular en el gajo ocasionado por factores genéticos o condiciones ambientales.	
	Dedos gemelos	Dos o más dedos fusionados que comparten la misma cáscara.	

Categoría	Defecto	Descripción	Imagen
Fisiológicos	Mancha de madurez	Mancha café que abarca el cuello y parte media del dedo.	
Empaque	Cuello quebrado	La unión del dedo con la corona presenta una quebradura o magulladura.	
	Residuo químico	Partículas sólidas claras distribuidas en las coronas y dedos del gajo.	
	Golpe de corona	Golpe que afecta la cáscara y la pulpa del banano.	
	Quema de caja	Daños superficiales que se dan por mala colocación en bolsa o en el empaque. También puede ser por un exceso de presión para empacar una gran cantidad de dedos en la caja.	
Insectos	Colaspis	Cicatrices secas que afectan únicamente la cáscara de la fruta, no la pulpa.	

Categoría	Defecto	Descripción	Imagen
Insectos	Chichera	Lesión seca de color café.	
	Abeja Trigona (Conga)	Puntos café oscuros distribuidos a lo largo de los gajos.	
Hongos y bacterias	Moquillo	Dedos que no crecen en longitud ni grosor. Al hacer un corte, el dedo se encuentra casi hueco y con necrosis semi seca.	
	Punta de cigarro	Necrosis en el centro y punta de los dedos. La pulpa se seca y se torna corrugada, el tejido se cubre con el hongo y se torna grisáceo.	
	Dedo podrido	Lesión acuosa que desprende un fuerte y mal olor.	
	Mancha oscura	Tiene la apariencia de un ahumado o suciedad sobre la fruta.	

Categoría	Defecto	Descripción	Imagen
Post-cosecha	Moho de corona	Presencia de micelios de un hongo en la corona del gajo.	
	Pudrición de corona	Enfermedad post-cosecha que se manifiesta durante la exportación del producto.	

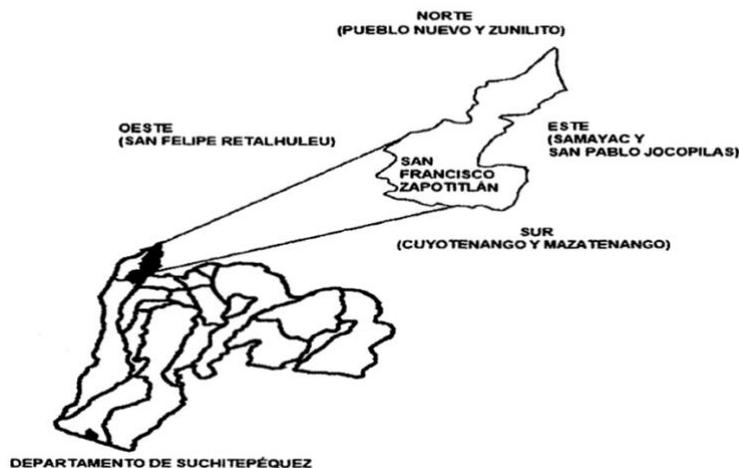
Fuente: (Dole, 2010)

C. Finca El Zambo

1. Ubicación geográfica

Finca El Zambo se encuentra ubicada en el Municipio de San Francisco Zapotitlán, uno de los veintiún municipios del Departamento de Suchitepéquez, el cual cubre un área aproximada de 60 km², lo que equivale al 23.90% del territorio total del Departamento. El municipio colinda al Norte con Pueblo Nuevo y Zunilito; al Este con Samayac, Zunilito y Mazatenango; al Sur con Mazatenango y Cuyotenango; al Oeste con Cuyotenango, San Felipe y Pueblo Nuevo (Gall, 1980).

Figura 2. Localización geográfica del Municipio de San Francisco Zapotitlán, departamento de Suchitepéquez



Fuente: (Rodríguez, 2012)

La Cabecera posee una altitud de 640 metros sobre el nivel del mar. El clima en la región es templado, con temperaturas que varían de 18°C hasta 31°C. La época de lluvia es de junio a octubre, y la época seca de noviembre a mayo. La precipitación pluvial oscila entre 2,500 y 3,000 mm anuales (Rodríguez, 2012).

2. Recursos naturales

La topografía del Municipio es irregular porque cuenta con elevaciones en la parte norte y planicies en la parte sur. Sus tierras son fértiles y son irrigadas por varias fuentes de agua, lo que facilita la producción de una gran variedad de cultivos. Los nacimientos están ubicados en Finca La Fuente, Finca Las Margaritas, Finca San Juan, Fincas San Carlos Buena Vista y Finca San Buena Aventura. Entre los ríos están Río Chitá, Río Cameyá, Los Ajos, Río Negro, Río Ixcús, Río Sis, Río Pancero, Río Iacán, Río Sacuá, Río Ixconá y Río Sacobá (Rodríguez, 2012).

3. Suelo

El suelo del Municipio está compuesto de Alfisoles, los cuales tienen la característica de ser muy fértiles. Los suelos pertenecen a la clase agrológica cuatro, que son tierras cultivables con topografía plana, ondulada o inclinada, apropiada para prácticas agrícolas. El principal componente del suelo es la ceniza volcánica y se caracteriza por lo siguiente: “relieve inclinado, drenaje interno bueno, suelo superficial de color café muy oscuro, de textura y consistencia franca, turbosa, friable suelta” (Rodríguez 2012).

D. Harinas como alternativas alimentarias

1. Harina de papa

La harina de papa es un producto versátil que se puede emplear en distintas matrices de alimentos como saborizante, espesante y sustituto parcial o total de otras harinas. Desde el punto de vista nutricional, es una fuente importante de proteína, vitaminas y minerales (Villalobos, Vargas y Obando, 2020).

Cuadro 4. Composición nutricional de harina de papa en una muestra de 100g de producto

Componente	Cantidad	Componente	Cantidad
Energía	357 kcal	Niacina	3.51 mg
Agua	6.52 %	Vitamina C	4.00 mg
Proteína	6.90 g	Vitamina A (retinol)	6.90 g
Grasas totales	0.34 g	Vitamina B 6	0.77 mg
Carbohidratos totales	83.08 g	Magnesio	65.00 mg
Fibra	5.90 g	Zinc	0.54 mg
Cenizas	3.13 g	Hierro	1.38 mg
Calcio	65.00 mg	Riboflavina	0.05 mg
Fósforo	168.00 mg	Tiamina	0.23 mg

Fuente: (Villalobos *et al.*, 2020)

2. Harina de yuca

La harina de yuca se puede utilizar como un sustituto de la harina de trigo, maíz, arroz, entre otros, en diferentes alimentos porque es una harina de alta calidad y tiene propiedades espesantes. Su principal característica es el alto contenido de carbohidratos, los cuales proporcionan un aporte calórico similar al del maíz y sorgo. Además, tiene un alto contenido de proteína y de fibra. Generalmente se utiliza en productos como sopas deshidratadas, condimentos, papilla para bebé y dulces (González, 2017).

3. Harina de malanga

La malanga, también conocida como taro o dashen, es un tubérculo comestible rico en carbohidratos, minerales y vitaminas que lo hacen un alimento nutritivo y de alta digestibilidad. Los subproductos de malanga, como la harina, proporcionan los nutrientes necesarios para satisfacer la ingesta diaria de los consumidores. Estos alimentos son una fuente importante de carbohidratos, por lo que puede actuar como sustituto de harina de trigo y otros granos (Pineda, 2013).

4. Harina de banano

En Guatemala, la harina de banano se ha probado como una alternativa alimentaria a nivel experimental y se proporcionó la siguiente información:

Cuadro 5. Valor nutritivo de la harina de banano (100g de alimento)

Harinas de banano	Humedad (%)	Valor energético (kcal)	Proteína (g)	Grasa (g)	Fibra cruda (g)	Ceniza (g)	Carbohidrato (g)
Sin cáscara	9.2	337	4.39	0.2	3.0	3.9	79.31
Verde con cáscara	15.2	310	3.98	1.6	3.9	5.4	69.92
Verde sin cáscara	11.4	329	4.88	0.2	2.9	3.7	76.92

Fuente: (Santiago, 2005)

En los estudios realizados se caracterizó la harina y el almidón de banano Gros Michel, y se determinó que ambos poseen altos contenidos de fibra, grasa y proteína, por lo que tienen un buen potencial para la elaboración o mejoramiento de productos agroindustriales. El banano verde contiene grandes cantidades de almidón, celulosa, hemicelulosa y lignina, por lo que una de las estrategias para aprovecharlo incluye la producción de harina. Esta se puede incorporar en productos para incrementar su valor nutricional (Ortega, 2016).

III. JUSTIFICACIÓN

El banano es uno de los productos de exportación más importantes en Guatemala. Su principal problema es el alto porcentaje de rechazo, que es aproximadamente el 10% de la producción anual a nivel nacional. Se considera no exportable la fruta que no cumple con los parámetros de calidad establecidos para el mercado internacional. El banano de rechazo se comercializa internamente en países productores, para alimentación humana y animal (Ortega, 2016). Los países procesadores de banano son reducidos en número. La mayoría de los productos procesados a partir de banano han sido desarrollados industrialmente por las mismas compañías transnacionales que lideran el mercado de la fruta fresca. La investigación y desarrollo de nuevos productos de banano por los países productores de banano no es muy común, por lo que no se han logrado producir alimentos altamente elaborados para exportación (Santiago, 2015).

El banano de rechazo que no se utiliza para la comercialización interna generalmente se acumula en basureros no autorizados. La fruta se expone a degradación natural, lo que contribuye a la generación de gases tóxicos y efecto invernadero y, por ende, daño al medio ambiente. Además, se desaprovecha una gran cantidad de materia prima porque se vende a precios bajos, lo que aumenta los costos de la comercialización del banano de primera calidad (Ortega, 2016).

Existe una gran cantidad de productos que se pueden elaborar a base de banano de rechazo, ya que este cuenta con características nutritivas y funcionales que los hacen aptos para el consumo. Estos alimentos se pueden clasificar en dos categorías, la primera está compuesta por los alimentos que sustituyen a los bananos frescos y la segunda por productos o ingredientes derivados del banano. En esta última categoría, los productos compiten con las alternativas de otras frutas y con las diferentes formas de procesar el banano, como: puré y congelado, deshidratado, preparación de puré y deshidratado a polvo, fermentado a alcohol, acidificado en anaerobiosis, fermentado a vinagre, fritura, preparación de bananos cocidos en jarabe, preparación del banano entero seco, entre otras (Santiago, 2005).

Esta investigación propone entonces el desarrollo de una harina de banano verde de descarte en la que se utilizará materia prima desaprovechada por las industrias para obtener un producto de valor agregado, que presenta una oportunidad de crecimiento para países con economías emergentes como Guatemala. Es un producto que contribuye a la descentralización de la industria porque representa una oportunidad de industrialización en el área bananera, lo cual ayuda a la generación de empleos. Además, contribuye a la disminución de los niveles de contaminación y es una alternativa alimentaria que beneficia la salud de los consumidores por sus características nutritivas y funcionales.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

- Desarrollar una harina de banano verde (*Musa paradisiaca*) de descarte.

B. Objetivos específicos

- Producir una harina multipropósito a partir de banano verde de descarte.
- Caracterizar funcional, fisicoquímica y nutricionalmente la harina de banano verde de descarte como ingrediente de productos.
- Evaluar cuatro procesos de secado de banano para la elaboración de la harina.
- Definir el método de secado de banano más conveniente según los costos de producción, considerando tiempos de proceso, requerimiento energético y consumo de materiales e insumos.

V. MARCO TEÓRICO

A. Propiedades del banano

1. Propiedades funcionales y valor nutritivo

Pulpa de banano

El banano es un alimento energético compuesto principalmente de agua, carbohidratos y una baja cantidad de proteínas, minerales y grasas. Según la International Network for the Improvement of Banana and Plantain (INIBAP, por sus siglas en inglés), es relativamente rico en potasio, magnesio, fósforo y vitaminas A, C y B₆ (Santiago, 2005). La incorporación de banano a la dieta como fuente calórica ofrece beneficios como alternativa alimentaria (González, 2017).

La pulpa de banano contiene diversas propiedades funcionales; favorece a los músculos porque ayuda a mantener su buen funcionamiento y evita espasmos musculares, contribuye a la disminución de presión arterial, reduce el riesgo de enfermedades cerebrovasculares y beneficia a los huesos. Además, mejora el humor en personas con depresión y síndrome pre-menstrual, ya que la vitamina B₆ está integrada por las moléculas de piridoxal, piridoxina y piridoxina, que tienen un papel importante en el metabolismo de varios neurotransmisores (serotonina, norepinefrina, sistema colinérgico, dopamina, y ácido γ -aminobutírico) (Blasco y Gómez, 2014).

El banano verde posee una alta concentración de almidón, que se degrada a una pequeña porción de monosacáridos, mientras que el resto se degrada a sacarosa. El almidón es un polímero de origen natural ampliamente utilizado en la ciencia de los alimentos (Blasco y Gómez, 2014). Sus características físicas, químicas, funcionales y nutricionales lo diferencian del resto de los carbohidratos. Es la reserva de alimento predominante en plantas y provee del 70-80% de las calorías consumidas por los humanos a nivel mundial. Además, se considera de los carbohidratos más digeribles, por lo que se ha utilizado en muchas aplicaciones, principalmente como fuente de energía (Núñez, 2003).

Los almidones tropicales como la yuca, el taro, la papa y el banano han sido fuente de alimento básico en las regiones cálidas y húmedas. Sin embargo, estudios realizados por el Servicio de Agroindustria y Gestión Post Cosecha, del Departamento de Agricultura de la FAO, han demostrado que los almidones de maíz, trigo y papa siguen dominando los mercados mundiales de almidones. La ventaja de almidones tropicales, como el banano, es que provienen de plantas que no han sido modificadas genéticamente, lo que le da un alto valor agregado y una ventaja competitiva, pues el mercado tiende a orientarse a productos que no sean transgénicos (Núñez, 2003).

Cáscara de banano

La cáscara de banano representa del 35-40% del fruto. Este material se trata como residuo, pero puede aprovecharse para la fabricación de diferentes productos en la industria alimentaria por sus propiedades físicas y químicas. Es rica en fibra dietética, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados y potasio, además de metanol, etanol, pectina y algunas enzimas. Se considera una fuente potencial de sustancias antioxidantes y microbianas, así como compuestos fenólicos con actividad contra radicales libres. Los antioxidantes y los polifenoles poseen propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas, antialérgicas y anticancerígenas que son beneficiosas para la salud humana (Blasco y Gómez, 2014).

2. Maduración

La maduración de la fruta es el resultado de una gran cantidad de cambios que ocurren independientemente unos de otros. Algunos de los cambios que ocurren en el banano durante la maduración son los siguientes: cambios en el color de la cáscara y de la pulpa, transformación del almidón en azúcar, cambios de proporción pulpa/cáscara, cambios en la firmeza de la pulpa o ablandamiento de la pulpa, cambios en el contenido de sólidos solubles totales, cambios en el pH y acidez titulable total de la pulpa, cambios en la humedad de la cáscara y la pulpa y en el contenido de materia seca, y cambios en la tasa de respiración y producción de etileno (Gómez, 2017).

Cuadro 6. Resumen de cambios en la composición del banano durante la maduración

Etapa de maduración	Azúcares invertid. %	Azúcares totales, %	Carbohidr. totales, %
Verde	1.24	7.76	21.51
Verde-amarillo	1.24	7.76	21.51
Amarillo	6.43	17.48	22.12
Amarillo-café	8.55	19.00	20.00
Amarillo-café	11.05	18.26	19.00
Café	10.90	16.60	16.60

Fuente: (Santiago, 2005)

Cuadro 7. Resumen de cambios en los carbohidratos del banano durante la maduración

Estado de madurez	Carbohidr. totales, %	Carbohidr. solubles, %	Carbohidr. insolubl., %
Verde	26.56	1.30	25.26
Maduro	19.00	17.02	1.98

Fuente: (Santiago, 2005)

Cuadro 8. Índices de madurez del banano

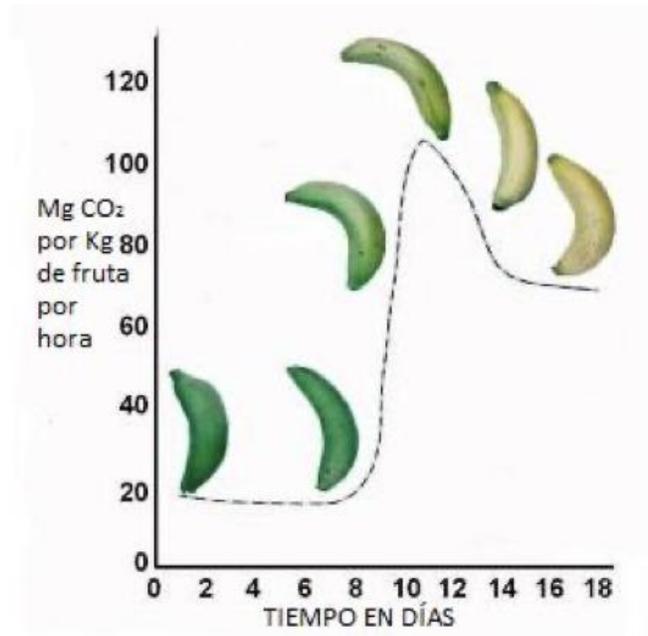
Estado de madurez	Color piel	Color pulpa	Aroma	Sabor
Muy verde	Verde hoja	Marfil	Sin olor	Astringente
Verde	Verde	Hueso	Poco característico	Poco astringente
Pintón	Verde amarillento	Crema	Ligeramente característico	Poco dulce
Maduro	Amarillo	Crema amarillenta	Característico	Dulzor característico
Sobre maduro	Amarillo negruzco	Amarillo	Olor intenso	Muy dulce

Fuente: (Gonzáles, 2017)

3. Respiración

La respiración es uno de los procesos metabólicos más importantes en el banano. Consiste en la degradación oxidativa del almidón, azúcares y ácidos orgánicos a moléculas más simples, liberando energía y otras moléculas que pueden ser utilizadas para otras reacciones. La actividad respiratoria es alta en las fases previas a la maduración y disminuye durante el proceso. En el banano, esta actividad aumenta de manera acelerada, por lo que es considerada una fruta climatérica (Gonzáles, 2017).

Figura 3. Patrón de respiración del banano



Fuente: (González, 2017)

La respiración se mide como la cantidad de miligramos de dióxido de carbono producido por kilogramo de fruta, o la cantidad de oxígeno consumido (González, 2017).

4. Sabor

El banano está compuesto mayormente de almidón, que se transforma en sacarosa, glucosa y fructosa durante la maduración. Otra pequeña parte se convierte en compuestos aromáticos como los ésteres. Durante el proceso, también disminuye la concentración de los ácidos, reduciendo el sabor agrio y la astringencia, pero generando un equilibrio dulzor-acidez (González, 2017).

Tras la recolección del banano, inicia la hidrólisis del almidón por las enzimas alfa y beta amilasas. El contenido del compuesto disminuye de 20-30% a 1-2%, mientras que el contenido de azúcares incrementa de 1-2% a 20-21%. Esta acumulación de azúcares influye directamente sobre las características sensoriales del fruto, tales como el sabor, color y textura (González, 2017).

Cuadro 9. Cambios en los carbohidratos de banano durante la maduración

Carbohidratos	Estado de madurez	
	Verde	Maduro
Carbohidratos totales %	26.56	19.00
Carbohidratos solubles %	1.30	17.02
Carbohidratos insolubles %	25.25	1.98

Fuente: (González, 2017)

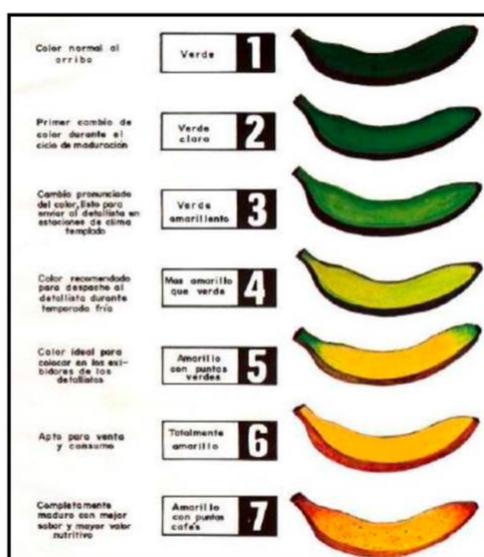
5. Aroma

Los compuestos volátiles producidos del banano son los que le proporcionan su aroma característico. Entre estos compuestos se encuentran los ésteres, que son los responsables del aroma del banano durante la maduración (González, 2017).

6. Color

La desaparición del color verde en la cáscara del banano y la intensificación del color amarillo durante la maduración se deben a la degradación de la estructura de la clorofila. Los cambios externos en el color de la cáscara durante la maduración generalmente reflejan los cambios de color en la pulpa. Las frutas se clasifican de acuerdo con el color de la cáscara mediante la escala de Von Loesecke (González, 2017).

Figura 4. Escala de Von Loesecke para medir la maduración en el banano.



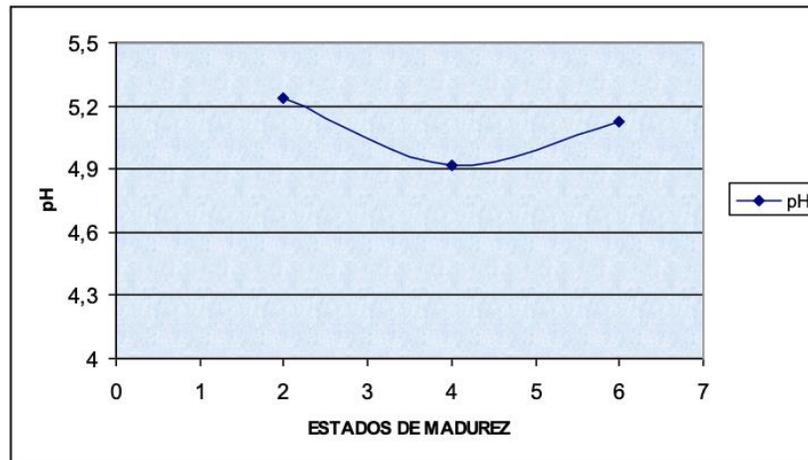
Fuente: (Ramírez, Tapia y Calvo, 2011)

El color de la cáscara y la pulpa del banano se determina para identificar el grado de madurez de la fruta. Para ello, se puede utilizar un colorímetro Color Flex Hunter Lab y su software, con el cual se leen los resultados en la escala de color L* a* b* (Montero y Salinas, 2017).

7. pH

El pH es un indicador de la concentración de iones de hidronio en la fruta, que hace referencia a su nivel de acidez o alcalinidad. Este parámetro es importante para la conservación de alimentos, ya que influye en el crecimiento de determinados microorganismos (González, 2017). En estudios realizados por Bermúdez *et al.* (2009) en diferentes cultivos de banano, se determinó que el pH oscila entre 5.0 - 5.8 para la pulpa de la fruta verde y entre 4.2 - 4.8 para la fruta madura.

Figura 5. Comportamiento del pH durante la maduración del banano



Fuente: (González, 2017)

8. Sólidos solubles

Los Grados Brix, o cantidad de sólidos solubles, indican el porcentaje de sacarosa presente en una solución. Un grado brix corresponde a 1 gramo de sacarosa en 100 gramos de solución, y se representan en porcentaje peso-peso (González, 2017). En estudios realizados por Chacón *et al.* (1987) en cultivos de banano, se determinó que la concentración de sólidos solubles en el banano aumenta con el proceso de maduración

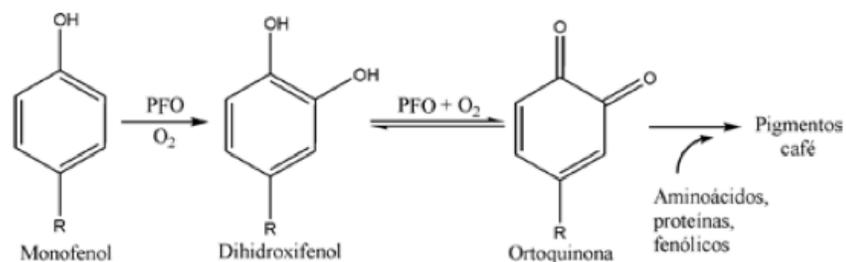
debido a la hidrólisis del almidón. En su estadio más verde, el banano presentó 4.5 grados brix y, después de siete días de maduración, 22.61 grados brix.

B. Pardeamiento enzimático

Las reacciones de pardeamiento enzimático son reacciones de descomposición en los alimentos que generan oscurecimiento por exposición a factores mecánicos o fisiológicos (González, 2017). Los tejidos de los alimentos contienen polifenol oxidasas, enzimas que tienen la capacidad de catalizar la oxidación de compuestos fenólicos y convertirlos en ortoquinonas que se polimerizan y forman pigmentos oscuros. La reacción se produce cuando hay suficiente daño vegetal en presencia de oxígeno (Santiago, 2005).

Para evitar el pardeamiento, se deben inactivar las enzimas responsables por las reacciones involucradas. Esto se puede realizar a través de los siguientes métodos: aplicación de calor, aplicación de químicos o eliminación de oxígeno. Para la inactivación de enzimas mediante calor, se somete la fruta a un proceso de escaldado que se realiza en el mínimo de temperatura necesario para poder inactivar las enzimas. Para la inactivación de enzimas mediante químicos, comúnmente se utilizan ácidos porque la actividad enzimática se detiene en un pH de 2.5. Por último, para la inactivación por eliminación de oxígeno, se limita la presencia del aire al trabajar y se envasa el material lo más rápido posible (González, 2017).

Figura 6. Acción del polifenol oxidasas sobre compuestos fenólicos



Fuente: (García *et al.*, 2006)

C. Métodos de almacenamiento post-cosecha

1. Refrigeración

El banano es un alimento perecedero por sus altas tasas respiratorias, las cuales pueden alcanzar hasta 200 mL de dióxido de carbono por kilogramo hora. Se puede conservar en refrigeración por un período de 1-3 semanas antes de ser removido y trasladado a cámaras de maduración donde son tratadas con etileno. Para evitar daños por el frío, se debe controlar la temperatura y la humedad relativa del aire durante el almacenamiento del banano en refrigeración (Santiago, 2005).

2. Atmosferas controlada y modificada

En un ambiente de atmósfera controlada con 7-10% de dióxido de carbono y 1.5-2.5% de oxígeno, el banano se puede conservar por más de cuatro meses a 20°C. Sin embargo, estos parámetros se deben controlar porque si la cantidad de dióxido de carbono es mayor a 7% y la de oxígeno menor a 1%, se generan sabores y texturas indeseadas. Para aumentar significativamente el tiempo de conservación, también se pueden sellar los bananos en sacos de polietileno, se puede utilizar permanganato de potasio (absorbente de etileno) y también se pueden emplear emulsiones de cera y productos a base de éster de sacarosa para reducir la pérdida de agua y oscurecimiento de la cáscara (Santiago, 2005).

D. Tratamientos previos

Para evitar el desarrollo de coloraciones oscuras que afectan negativamente en las características sensoriales de las frutas por las reacciones de pardeamiento enzimático, se utilizan tratamientos que inhiben las enzimas. Los compuestos más utilizados para este fin son el ácido ascórbico, ácido cítrico y L-cisteína (Sepúlveda, 2010). Además del uso de aditivos químicos, antioxidantes y agentes reductores, también existen otros métodos para inactivar las enzimas causantes del oscurecimiento de la fruta. Entre estos están el escaldado (o blanqueo), la remoción de catalizadores y la irradiación (Arrázola, Alvis y García, 2016).

1. Aditivos químicos

El ácido cítrico es un compuesto orgánico que se encuentra de forma natural en las frutas cítricas. En la industria de alimentos se utiliza como saborizante, conservante, antioxidante, regulador de pH, entre otras (Rivada, 2008). Se utiliza para inhibir las reacciones de pardeamiento enzimático por su capacidad de reducir el pH, lo que reduce la actividad enzimática de la polifenoloxidasas. El compuesto no es costoso, pero se utiliza en combinación con otros agentes antioxidantes para mejorar la inhibición de las reacciones (Sepúlveda, 2010).

2. Antioxidantes

El ácido ascórbico, también conocido como vitamina C, es una vitamina hidrosoluble sintetizada a partir de glucosa a través de reacciones catalizadas por enzimas (Serra y Cafaro, 2007). Es un compuesto eficiente para inhibir el pardeamiento enzimático por su capacidad antioxidante y de disminución de pH. Sin embargo, su efecto no es permanente y puede causar alteraciones del sabor original (Sepúlveda, 2010).

3. Agentes reductores

La L-cisteína es un aminoácido no esencial derivado de la metionina. Es un antioxidante eficiente, pero las cantidades requeridas del compuesto para inhibir las reacciones de pardeamiento enzimático generan sabores extraños en los productos (Sepúlveda, 2010).

4. Escaldado

El escaldado, o blanqueo, es un tratamiento térmico que consiste en poner en contacto la fruta o vegetal con vapor o agua caliente por diferentes períodos de tiempo para inactivar las enzimas causantes del pardeamiento enzimático (Arrázola, Alvis y García, 2016).

E. Secado

El secado es uno de los métodos más utilizados para la conservación de alimentos porque impide la acción de agentes deteriorantes a través de la deshidratación de los

productos. La deshidratación es la eliminación parcial o total de agua de un alimento sólido. El proceso se realiza en condiciones controladas para para obtener un producto con la mejor calidad sensorial y nutricional. Para que haya crecimiento microbiano, el alimento debe tener entre 18-20% de humedad. Con el proceso de deshidratación, el contenido de agua de los alimentos se reduce hasta 5%, reduciendo la probabilidad del deterioro por presencia de microorganismos (Gonzáles, 2017).

El secado de alimentos inactiva a las enzimas degradativas por medio de la aplicación de calor. Para un secado óptimo, se deben tomar en cuenta la curva de absorción del producto y su espesor. La curva de absorción establece la relación entre su actividad de agua y su contenido de agua, lo que determina el comportamiento higroscópico del alimento. El espesor determina la resistencia del alimento a la evaporación de agua, lo que indica el tiempo de secado (Gonzáles, 2017). Algunas de las ventajas de este método son: prolongar la vida útil de los alimentos; conservar sus nutrientes; facilitar su almacenaje, transporte y manipulación; reducir el desperdicio; entre otras. Sin embargo, una de sus principales desventajas es la pérdida de aroma y cambios en el sabor por la aplicación de energía para la eliminación del agua. También ocurren cambios químicos y bioquímicos (Santiago, 2005).

1. Secado con espuma

El secado por espuma es un proceso en el que se batan productos líquidos o semilíquidos para formar una espuma que puede secarse por convección, liofilización o aplicación de microondas (Tirira, 2014). El proceso se divide en tres etapas: formación de una espuma estable de un concentrado con o sin estabilizantes de espuma; extensión de la espuma en una capa delgada que se deshidrata; y desintegración, tamizado y envase. Sus ventajas incluyen la formación de condiciones uniformes en el proceso de secado, la obtención de productos de reconstitución rápida y la obtención de productos con características organolépticas deseadas para productos deshidratados. Esta última incluye la reducción de peso y volumen del alimento, facilidad de transporte, mayor vida de anaquel, entre otras. Entre sus desventajas están la posible modificación de características de color, sabor y aroma propias del alimento (Valverde y Amurrio, 2010). El uso de

proteínas como agentes espumantes para los procesos de secado de frutas ha incrementado a lo largo de los años, siendo la proteína de soya y maltodextrina una de las mezclas más utilizadas. Esto debido a que permiten la obtención de polvos no pegajosos de alta fluidez y mejoran la estabilidad de frutas deshidratadas (Ekpong *et al.*, 2014).

2. Secado mediante tambores

El secado mediante tambores es uno de los métodos de secado más eficientes para líquidos con alta viscosidad o alimentos en forma de puré. El proceso consiste en colocar el material líquido o en puré como una capa ligera sobre la superficie exterior de un par de tambores giratorios y calentados internamente por vapor. Después de aproximadamente una revolución, el producto ya está seco y se remueve con una cuchilla. Algunas de las ventajas del secado mediante tambores es que los productos resultantes tienen buena porosidad y rehidratación; se pueden secar alimentos viscosos; el equipo es fácil de operar y mantener; entre otras (Cano, 2014).

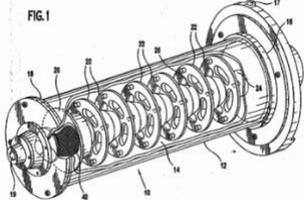
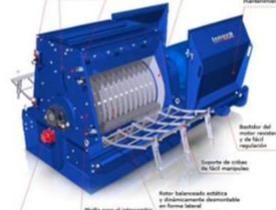
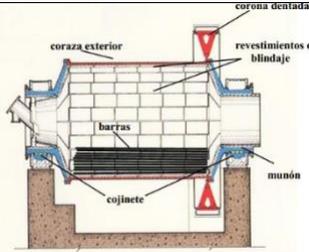
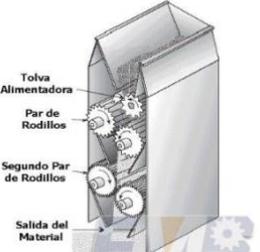
3. Reducción de tamaño

La reducción de tamaño de sólidos es un proceso que requiere de la aplicación de fuerza para romper materiales. Se realiza para adecuar un material para un uso específico o aumentar su superficie de contacto para una reacción determinada. Las diferentes formas de reducción de tamaño de sólidos que se emplean son: trituración, quebrantamiento, pulverización o molienda, entre otros (González, 2017). Estas operaciones se realizan con equipos como molinos y se separan por tamaño a través de tamizado (Santos *et al.*, 2013).

4. Molinos

Los molinos reducen el tamaño de partícula de los sólidos por una combinación de impacto y abrasión. Existen los molinos de discos, molinos de martillo, molinos de barras, molinos de rodillos, entre otros (Santos *et al.*, 2013).

Cuadro 10. Tipos de molinos y su funcionamiento

Tipo	Descripción	Aplicación	Imagen
Molino de discos	Está compuesto por dos discos colocados en posición vertical u horizontal que se frotan entre sí.	Molienda gruesa de cereales y productos similares.	 <p>FIG.1</p>
Molino de martillo	Está compuesto por martillos fijos u oscilantes colocados en un eje de rotación.	Molienda fina de granos y semillas.	 <p>Trabaja de seguridad para impedir la apertura de sus partes móviles. Muelle para impedir la salida del producto molido. Revestimiento interior con chuzos para facilitar el movimiento. Puntos de fijación para facilitar el mantenimiento. Salida del material molido y de fácil limpieza. Tronco de criba de fácil montaje. Motor horizontal sólido y perfectamente ajustado al mismo. Molino para el triturado de los granos. Motor con garantía de cinco años de funcionamiento en todo el territorio nacional.</p>
Molino de barras	Está compuesto por un cilindro de eje horizontal, cuyo interior contiene barras cilíndricas.	Molienda de carbón y coque, fabricación de arena artificial para hormigón, entre otras.	 <p>corona dentada coraza exterior revestimientos o blindaje barras cojinete munón</p>
Molino de rodillos	Está compuesto por dos cilindros que giran en sentido contrario. Pueden rotar a la misma velocidad o velocidades distintas.	Disminución de tamaño hasta en tres partes de alimentos naturales o mezclas de piensos.	 <p>Tolva Alimentadora Par de Rodillos Segundo Par de Rodillos Salida del Material</p>

Fuente: (Santos *et al.*, 2013).

5. Tamizado

Los tamices están compuestos por un recipiente con un fondo de criba y un conjunto de asa que trabajan por agitación ininterrumpida, separando los sólidos por tamaño. El proceso se realiza para determinar el diámetro del sólido. El peso total de la muestra y los pesos retenidos en cada tamiz se utilizan para determinar el porcentaje de sólidos acumulados y elaborar una curva granulométrica, que permite identificar el tamaño medio de partícula (González, 2017).

F. Caracterización de la harina

La caracterización de harinas permite determinar sus propiedades físicas y químicas para relacionar su macroestructura, microestructura y propiedades funcionales (Umaña *et al.*, 2013). Las propiedades físicas incluyen la granulometría, análisis de color, pH y acidez titulable, contenido de sólidos solubles, índice de absorción de agua y grasa, actividad de agua y densidad. Las propiedades químicas incluyen humedad, cenizas, grasa, proteína, carbohidratos y fibra por medio de análisis proximal (Santiago, 2005).

VI. METODOLOGÍA

El desarrollo de la harina de banano verde de descarte y sus respectivos análisis se realizaron en la Universidad del Valle de Guatemala. Se utilizaron los equipos de la planta piloto de alimentos para la producción de la harina y el material y equipo de los laboratorios para los análisis cuantitativos y cualitativos de esta.

A. Selección de materia prima

Se seleccionaron los bananos verdes provenientes de finca El Zambo de color verde claro y verde amarillento, que equivalen a los niveles 2 y 3 según la escala de Von Loesecke para medir la maduración en el banano. La selección se realizó de manera visual, descartando los frutos que tuvieran daños muy graves.

B. Lavado

Se lavaron los bananos con una solución de hipoclorito de sodio de grado alimenticio en una concentración de 10 ppm para limpiarlos y desinfectarlos, asegurando así la inocuidad del producto terminado. Se enjuagaron los bananos para retirar trazas de este químico y se escurrieron para eliminar el exceso de agua.

C. Corte

Los bananos se cortaron utilizando una cortadora Hobart modelo FP100 procurando mantener el grosor de las rodajas entre 2-4 mm para evitar problemas durante el secado.

Figura 7. Cortadora Hobart modelo FP100



D. Tratamientos previos

Se emplearon dos tipos de tratamientos previos: inmersión en una solución ácida y escaldado. El primer tratamiento consistió en la inmersión de la fruta en una solución de ácido cítrico como aditivo químico y ácido ascórbico como antioxidante.

Cuadro 11. Concentración y tiempo de tratamiento con ácido para evitar pardeamiento enzimático

Ácido	Concentración de solución (g/100mL)	Tiempo de tratamiento (min)
Cítrico	0.6	15
Ascórbico	0.2	

Fuente: elaboración propia

El segundo tratamiento consistió en la inmersión de la fruta en agua a 90 grados centígrados por cuatro minutos. Cabe mencionar que cada uno de los tratamientos se aplicó a una muestra individual, pero ambos con el fin de evitar las reacciones de pardeamiento enzimático en el banano, que podrían afectar las propiedades organolépticas del producto final.

E. Secado

1. Secado por deshidratación

Para el secado por convección, se colocaron las rodajas de banano en una deshidratadora Ivation modelo IVFD60RB y se secaron a temperaturas entre 60°C y 65°C por 8-10 horas para disminuir el contenido de humedad.

Figura 8. Deshidratadora Ivation modelo IVFD60RB



2. Secado con espuma

Para el secado con espuma, se cortaron las rodajas de banano en pequeños pedazos y se colocaron en una batidora KitchenAid Artisan modelo KSM150PSOB con 1% p/p de proteína de soya y maltodextrina al 5%. La espuma se secó en una deshidratadora Ivation modelo IVFD60RB a una temperatura entre 45-60°C por 8-10 horas.

Figura 9. Batidora KitchenAid Artisan modelo KSM150PSOB



3. Secado mediante tambores

Para el secado por tambor, se cortaron las rodajas de banano en pequeños pedazos y se colocaron en una batidora KitchenAid Artisan modelo KSM150PSOB con 1% p/p de proteína de soya y maltodextrina al 5% para formar una espuma. Para secar la espuma, se utilizó un secador de tambor Buflovak Laboratory Atmospheric Double Drum Dryer.

Figura 10. Secador de tambor Buflovak Laboratory Atmospheric Double Drum Dryer



F. Molienda

Las rodajas secas se colocaron en un procesador Cuisinart modelo ECH-4SV para reducir el tamaño de los sólidos a un producto en polvo de partículas finas.

Figura 11. Procesador Cuisinart modelo ECH-4SV



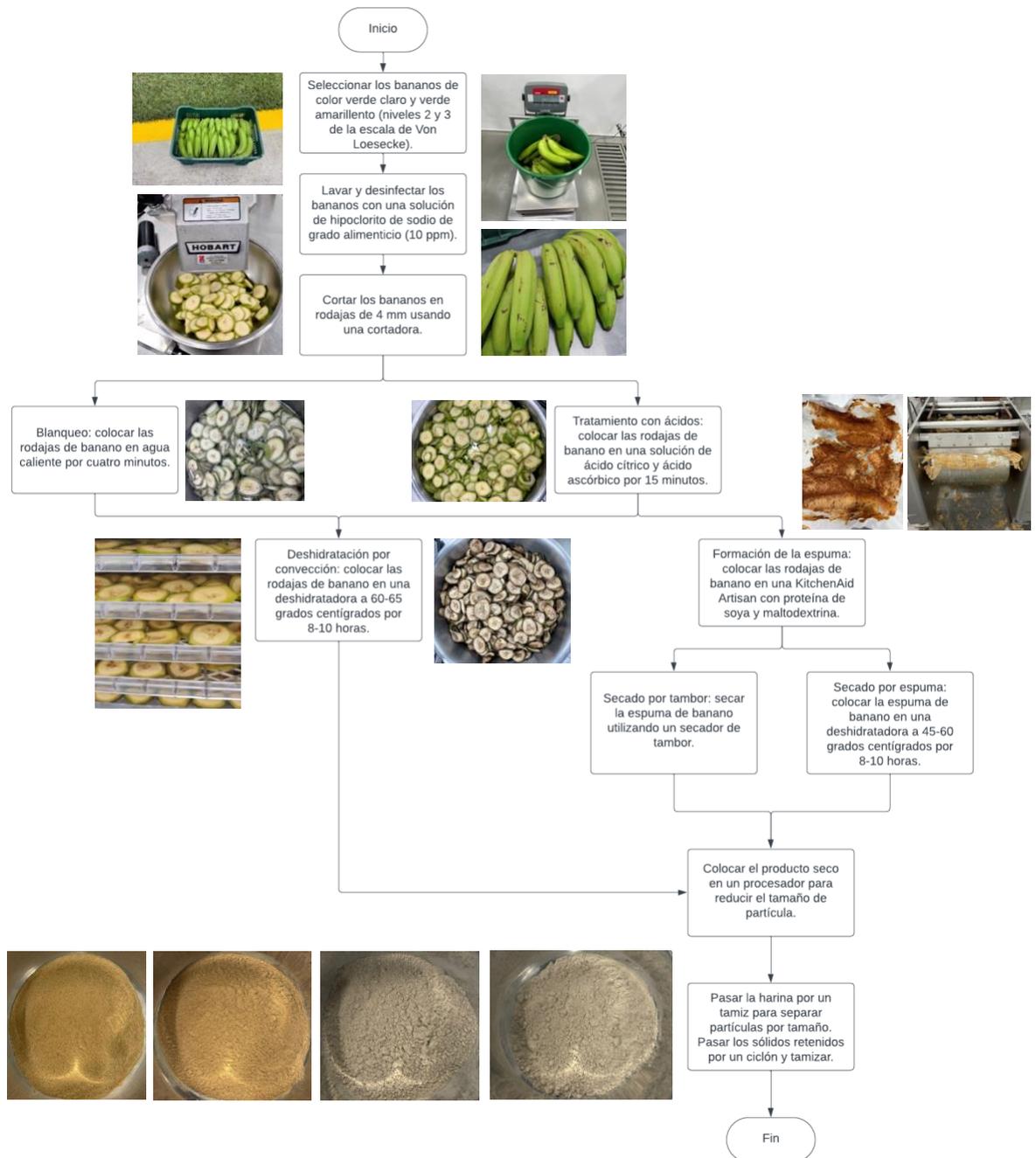
G. Tamizado

El polvo fino se pasó por un tamiz para eliminar las partículas de mayor tamaño. Los sólidos retenidos se pasaron por un ciclón Foss modelo Cyclotec 1093 y se tamizaron nuevamente.

Figura 12. Ciclón FOSS modelo Cyclotec 1093



H. Diagrama de flujo del proceso



Fuente: elaboración propia

I. Caracterización de la harina

Para la caracterización de la harina se midieron parámetros físicos y químicos. Los parámetros físicos evaluados incluyeron la granulometría, análisis de color, pH y acidez

titulable, contenido de sólidos solubles, índice de absorción de agua y grasa, actividad de agua y densidad. Los parámetros químicos incluyeron determinación de humedad, cenizas, grasa, proteína, carbohidratos y fibra por medio de análisis proximal.

1. Análisis físicos

Granulometría

Para el análisis granulométrico se empleó el método de tamización en cascada. Se determinó el peso de sólidos retenidos con una balanza KERN modelo PES 4200-2M, con lo que se calculó el porcentaje de peso retenido en cada uno de los tamices.

Figura 13. Prueba de tamizado en harina de banana verde



Análisis de color

Para la medición del color de la harina se utilizó un colorímetro HunterLab, que permitió determinar los valores de las coordenadas L^* , a^* y b^* .

Figura 14. Colorímetro HunterLab



pH

Para la determinación de pH, se pesó una cantidad de muestra en un beaker de 100 mL con una balanza KERN modelo PES 4200-2M y se añadió agua. Se mezcló durante 30 segundos para homogenizar la solución. Se decantó el sobrenadante y se midió inmediatamente el pH con un potenciómetro Hanna Instruments modelo HI 981034.

Figura 15. Potenciómetro Hanna Instruments modelo HI 981034



Acidez titulable

La determinación de acidez titulable de la harina se realizó utilizando el método AACC 02-31-01 de la Cereal & Grain Association. Se preparó y se homogenizó una solución de harina y agua desionizada. Se tituló con hidróxido de sodio 0.1M y se determinó el punto final de la valoración utilizando un potenciómetro (Hanna Instruments, 2022).

Figura 16. Material de titulación para determinación de acidez titulable



Contenido de sólidos solubles

Para la determinación de grados Brix, se pesó una cantidad de muestra en un beaker de 100 mL con una balanza KERN modelo PES 4200-2M y se añadió agua. Se mezcló durante 30 segundos para homogenizar la solución. Se decantó el sobrenadante y se midieron inmediatamente los grados Brix con un refractómetro Hanna Instruments modelo HI 96801.

Figura 17. Refractómetro Hanna Instruments modelo HI 96801



Índice de absorción de agua

Para la determinación del índice de absorción de agua se empleó el método de Chaparro *et al.* (2014). Se pesó un gramo de muestra con una balanza KERN modelo PES 4200-2M y se mezcló con 10 mililitros de agua destilada durante 30 segundos. La muestra se dejó reposar a temperatura ambiente por 30 minutos y se centrifugó. El resultado se presentó en volumen por gramo de muestra del sobrenadante, que se midió en una probeta de 10 mililitros.

Índice de absorción de grasa

Para la determinación del índice de absorción de grasa se empleó el método de Chaparro *et al.* (2014). Se pesó un gramo de muestra y se mezcló con 10 mililitros de aceite durante 30 segundos. La muestra se dejó reposar a temperatura ambiente por 30 minutos y se centrifugó. El resultado se presentó en volumen por gramo de muestra del sobrenadante, que se midió en una probeta de 10 mililitros.

Actividad de agua

Para la medición de la actividad de agua se tomó una muestra de harina, se introdujo en la cámara de medición del AquaLab y se esperó a que llegara al punto de equilibrio para medir su actividad de agua.

Figura 18. Medidor de actividad de agua AquaLab



Densidad

Para la medición de la densidad se pesó una probeta graduada de 25 mililitros con una balanza KERN modelo PES 4200-2M. Se taró la probeta y se llenó con harina hasta completar el volumen de la probeta. El valor de la densidad se obtuvo dividiendo el peso de la harina en el volumen de la probeta.

2. Análisis químicos

Para el análisis proximal se emplearon los siguientes métodos de análisis: método AOAC 934.01 para la determinación de humedad; Kjeldahl AOAC 2001.11 para la determinación del contenido de proteína; Soxhlet AOAC 920.58 para la determinación de grasa; método AOAC 938.08 para la determinación de cenizas; y la determinación de carbohidratos por el la resta de 100% menos el porcentaje de proteína, de grasa y de ceniza. También se determinó la fibra total y la fibra soluble e insoluble por el método AOAC 985.29 (AOAC, 1990).

Figura 19. Determinación de porcentaje de humedad para muestras de harina de banano verde



Figura 20. Calcinación de muestras de harina de banano verde para determinación del contenido de ceniza



Figura 21. Preparación de muestras de harina de banano verde para determinación del contenido de grasa



Figura 22. Método de Soxhlet utilizado para la determinación del contenido de grasa en harina de banano verde



Figura 23. Método Kjeldahl para la determinación del contenido de proteína en harina de banano verde



Figura 24. Continuación del Método Kjeldahl para la determinación del contenido de proteína en harina de banano verde



Figura 25. Titulación de muestras de harina de banana verde con ácido clorhídrico para la determinación del contenido de proteína



Figura 26. Proceso para determinación del contenido de fibra cruda en harina de banana verde



Figura 27. Proceso para determinación del contenido de fibra dietética en harina de banana verde



VII. RESULTADOS

Cuadro 12. Rendimiento de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Método de secado	Rendimiento (%)
Deshidratado por convección	22.29
Blanqueo y deshidratado por convección	21.91
Secado por espuma	22.64
Secado por tambor	21.09

Fuente: elaboración propia

Cuadro 13. Índice de absorción de agua de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Método de secado	Índice de absorción de agua (mL/g)
Deshidratado por convección	3.8 ± 0.2
Blanqueo y deshidratado por convección	3.1 ± 0.2
Secado por espuma	2.33 ± 0.05
Secado por tambor	5.1 ± 0.1

Fuente: elaboración propia

Cuadro 14. Índice de absorción de aceite de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Método de secado	Índice de absorción de aceite (mL/g)
Deshidratado por convección	1.22 ± 0.08
Blanqueo y deshidratado por convección	1.15 ± 0.07
Secado por espuma	1.06 ± 0.09
Secado por tambor	1.00 ± 0.05

Fuente: elaboración propia

Cuadro 15. Actividad de agua de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Método de secado	Actividad de agua
Deshidratado por convección	0.4625 ± 0.0035
Blanqueo y deshidratado por convección	0.3480 ± 0.0042
Secado por espuma	0.4505 ± 0.0106
Secado por tambor	0.4580 ± 0.0000

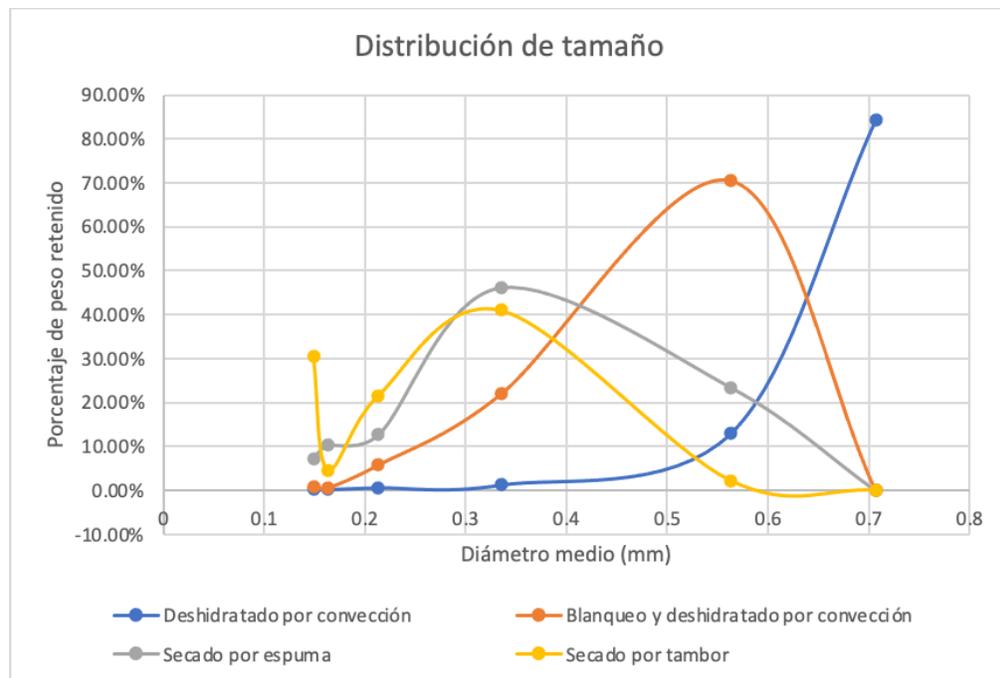
Fuente: elaboración propia

Cuadro 16. Análisis granulométrico de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Tamiz	Diámetro medio (mm)	Porcentaje de peso retenido (%)			
		Deshidratado por convección	Blanqueo y deshidratado por convección	Secado por espuma	Secado por tambor
25	0.707	84.29	0.06	0.06	0.00
40	0.564	13.08	70.65	23.44	2.14
60	0.335	1.33	21.89	46.37	41.29
80	0.214	0.71	5.88	12.72	21.51
100	0.163	0.32	0.66	10.28	4.67
Fondo	0.149	0.28	0.86	7.14	30.39

Fuente: elaboración propia

Figura 28. Distribución de tamaño de partícula de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado



Fuente: elaboración propia

Cuadro 17. Análisis colorimétrico de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Método de secado	L*	a*	b*	Imagen
Deshidratado por convección	76.9 ± 0.5	2.80 ± 0.01	15.86 ± 0.01	
Blanqueo y deshidratado por convección	74.5 ± 1.7	3.06 ± 0.09	13.7 ± 0.2	
Secado por espuma	66.52 ± 0.95	10.68 ± 0.04	24.98 ± 0.08	
Secado por tambor	63.4 ± 0.3	10.6 ± 0.1	27.64 ± 0.07	

Fuente: elaboración propia

Cuadro 18. Determinación de pH de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Método de secado	pH
Deshidratado por convección	5.93 ± 0.03
Blanqueo y deshidratado por convección	5.51 ± 0.01
Secado por espuma	5.35 ± 0.01
Secado por tambor	6.90 ± 0.01

Fuente: elaboración propia

Cuadro 19. Determinación de acidez titulable de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Método de secado	Acidez titulable (% ácido málico)
Deshidratado por convección	0.25 ± 0.01
Blanqueo y deshidratado por convección	0.32 ± 0.01
Secado por espuma	0.51 ± 0.00
Secado por tambor	0.16 ± 0.02

Fuente: elaboración propia

Cuadro 20. Determinación de grados Brix de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Método de secado	Grados Brix
Deshidratado por convección	0.60 ± 0.00
Blanqueo y deshidratado por convección	0.25 ± 0.07
Secado por espuma	1.6 ± 0.1
Secado por tambor	1.25 ± 0.07

Fuente: elaboración propia

Cuadro 21. Determinación de densidad de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Método de secado	Densidad (g/mL)
Deshidratado por convección	0.635
Blanqueo y deshidratado por convección	0.675
Secado por espuma	0.805
Secado por tambor	0.739

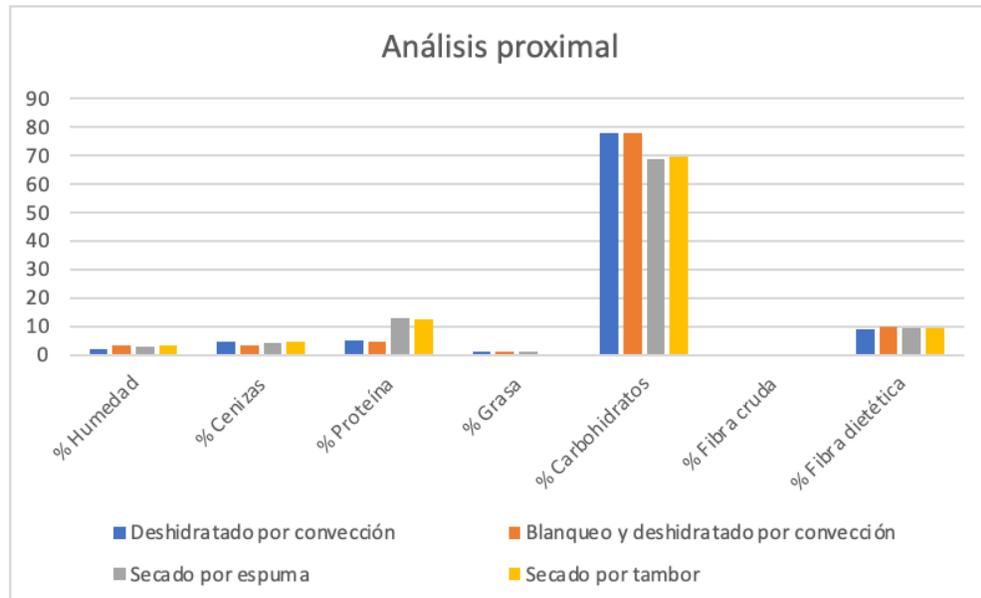
Fuente: elaboración propia

Cuadro 22. Análisis proximal de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Análisis	Deshidratado por convección	Blanqueo y deshidratado por convección	Secado por espuma	Secado por tambor
% Humedad	2.22 ± 0.2	3.17 ± 0.02	3.1 ± 0.1	3.6 ± 0.1
% Cenizas	4.62 ± 0.08	3.3 ± 0.4	4.30 ± 0.04	4.49 ± 0.00
% Proteína	4.90 ± 0.00	4.89 ± 0.00	13.11 ± 1.23	12.58 ± 0.00
% Grasa	1.27 ± 0.11	1.04 ± 0.02	1.4 ± 0.4	0.41 ± 0.02
% Carbohidratos	77.8 ± 0.2	77.9 ± 0.4	68.7 ± 0.9	69.49 ± 0.03
% Fibra cruda	0.12 ± 0.01	0.02 ± 0.01	0.04 ± 0.01	0.05 ± 0.01
% Fibra dietética	9.1 ± 0.2	9.74 ± 0.4	9.4 ± 0.6	9.43 ± 0.01

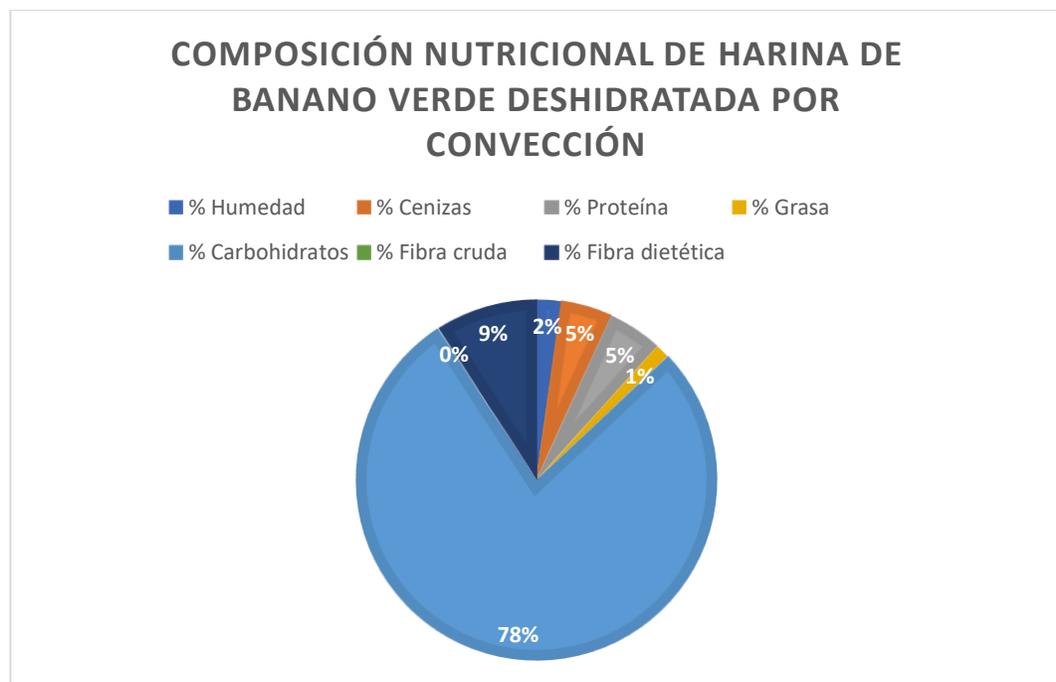
Fuente: elaboración propia

Figura 29. Composición nutricional de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado



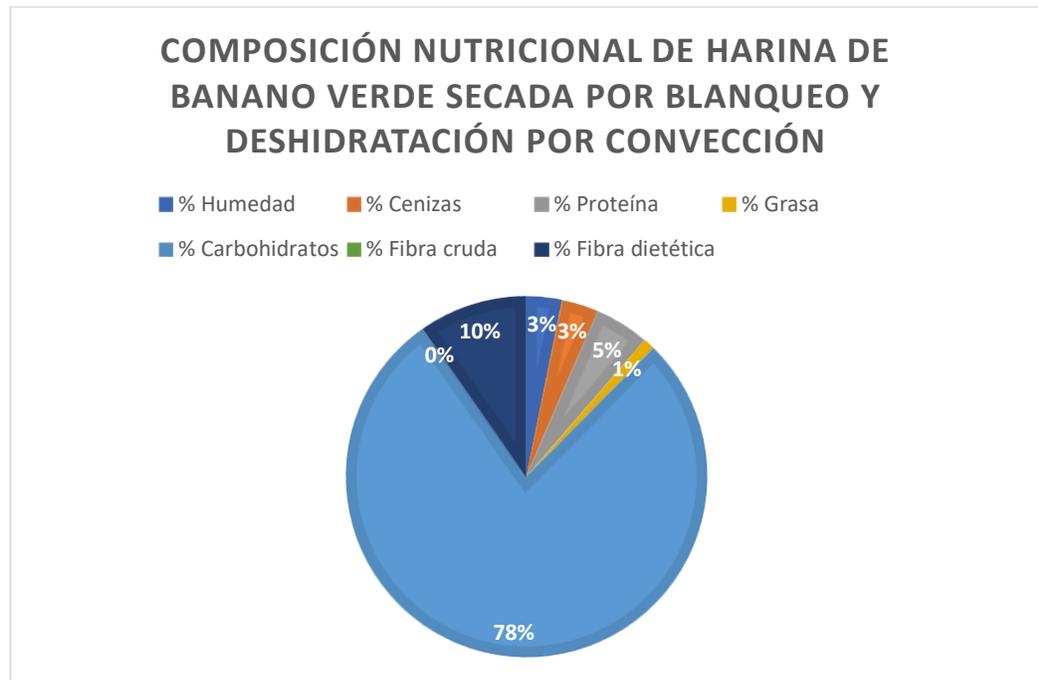
Fuente: elaboración propia

Figura 30. Composición nutricional de harina de banano verde de rechazo secada por el método de deshidratación por convección



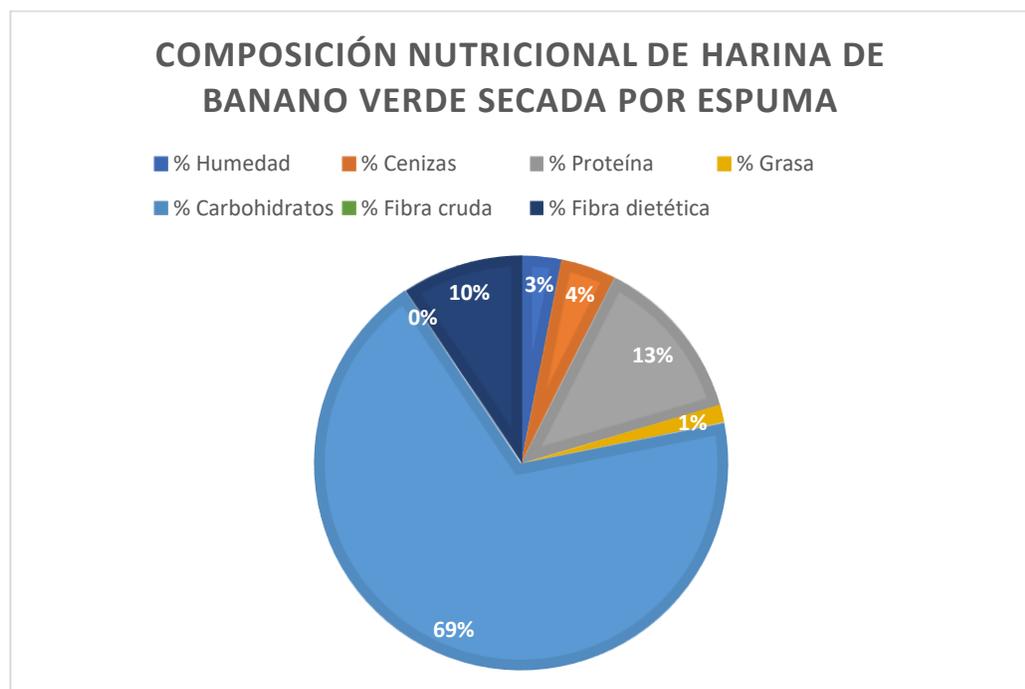
Fuente: elaboración propia

Figura 31. Composición nutricional de harina de banano verde de rechazo secada por el método de blanqueo y deshidratación por convección



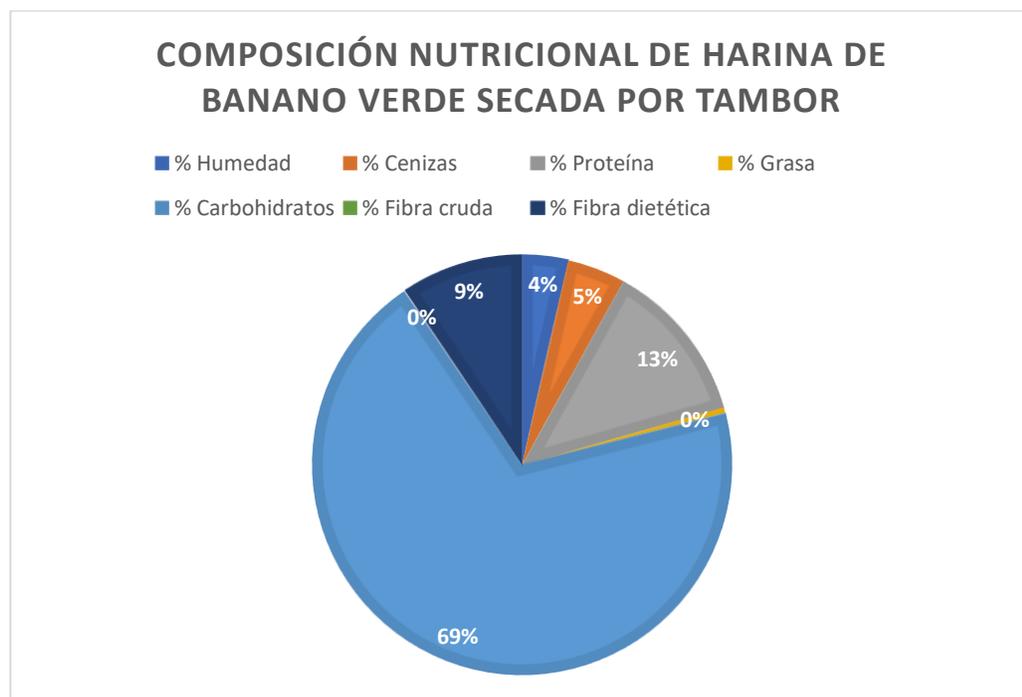
Fuente: elaboración propia

Figura 32. Composición nutricional de harina de banano verde de rechazo secada por el método de secado por espuma



Fuente: elaboración propia

Figura 33. Composición nutricional de harina de banano verde de rechazo secada por el método de secado por tambor



Fuente: elaboración propia

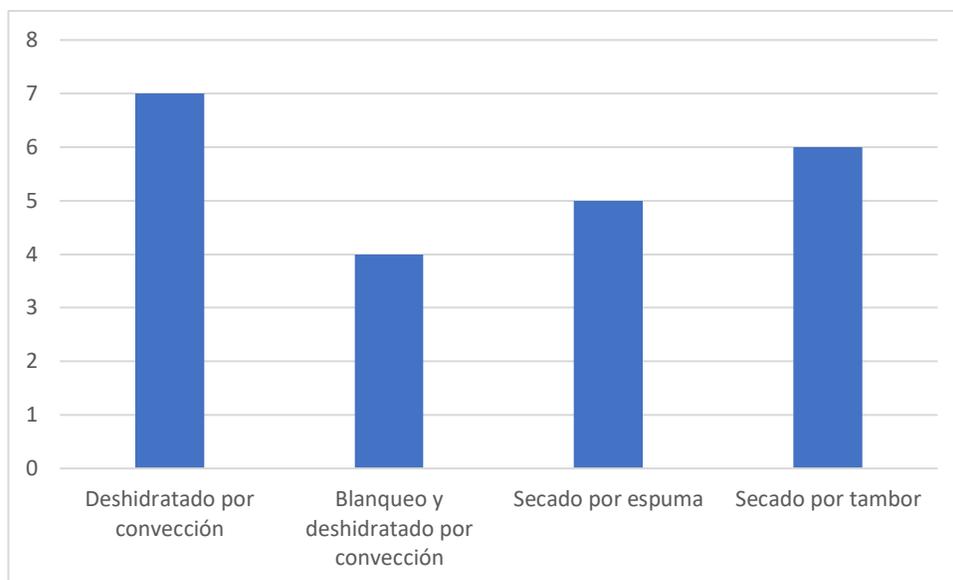
Cuadro 23. Matriz de decisión de características funcionales y fisicoquímicas de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Factores	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Deshidratado por convección	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	7
Blanqueo y deshidratado por convección	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	4
Secado por espuma	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	5
Secado por tambor	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	6

Fuente: elaboración propia

Nota. rendimiento (1), índice de absorción de agua (2), índice de absorción de aceite (3), actividad de agua (4), tamaño de partícula (5), color (6), pH (7), acidez (8), sólidos solubles (9) y densidad (10)

Figura 34. Puntuación de matriz de decisión de características funcionales y fisicoquímicas de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado



Fuente: elaboración propia

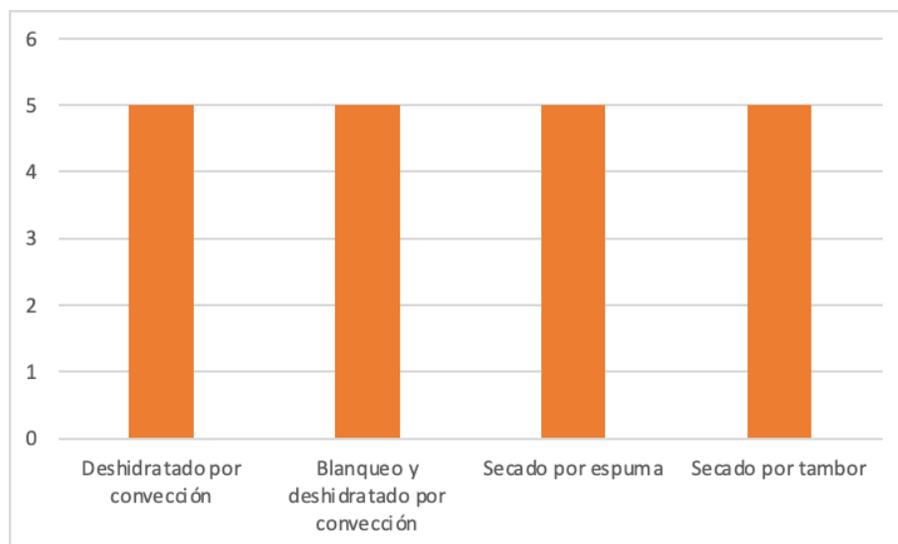
Cuadro 24. Matriz de decisión de propiedades nutricionales de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Factores	1	2	3	4	5	6	7	Total
Deshidratado por convección	1	0	1	1	1	0	1	5
Blanqueo y deshidratado por convección	1	0	1	1	1	0	1	5
Secado por espuma	1	0	1	1	1	0	1	5
Secado por tambor	1	0	1	1	1	0	1	5

Fuente: elaboración propia

Nota. humedad (1), cenizas (2), proteína (3), grasa (4), carbohidratos (5), fibra cruda (6) y fibra dietética (7)

Figura 35. Puntuación de matriz de decisión de propiedades nutricionales de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado



Fuente: elaboración propia

Cuadro 25. Análisis de costos de producción de un kilogramo de harina de banano verde de rechazo obtenida por deshidratación por convección

Fase	Tiempo (h)	Requerimiento energético (kWh)	Consumo de materiales e insumos (Q)	Costo (Q)
Cortado	0.08	0.04	-	0.10
Tratamiento	0.25	-	1.84	1.84
Deshidratación	10.00	5.00	-	11.64
Molienda	0.10	0.03	-	0.08
Total				13.67

Fuente: elaboración propia

Cuadro 26. Análisis de costos de producción de un kilogramo de harina de banano verde de rechazo obtenida por blanqueo y deshidratación por convección

Fase	Tiempo (h)	Requerimiento energético (kWh)	Consumo de materiales e insumos (Q)	Costo (Q)
Cortado	0.08	0.04	-	0.10
Blanqueo	0.23	-	2.07	2.07
Deshidratación	10.00	5.00	-	11.64
Molienda	0.10	0.03	-	0.08
Total				13.90

Fuente: elaboración propia

Cuadro 27. Análisis de costos de producción de un kilogramo de harina de banano verde de rechazo obtenida por secado por espuma

Fase	Tiempo (h)	Requerimiento energético (kWh)	Consumo de materiales e insumos (Q)	Costo (Q)
Cortado	0.08	0.04	-	0.10
Espuma	0.5	0.45	2.22	3.27
Deshidratación	10.00	5.00	-	11.64
Molienda	0.10	0.03	-	0.08
Total				15.10

Fuente: elaboración propia

Cuadro 28. Análisis de costos de producción de un kilogramo de harina de banano verde de rechazo obtenida por secado por tambor

Fase	Tiempo (h)	Requerimiento energético (kWh)	Consumo de materiales e insumos (Q)	Costo (Q)
Cortado	0.08	0.04	-	0.10
Espuma	0.5	0.45	2.22	3.27
Secado	2.99	-	20.60	20.60
Molienda	0.10	0.03	-	0.08
Total				24.05

Fuente: elaboración propia

VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El objetivo del proyecto fue desarrollar una harina de banano verde (*Musa paradisiaca*) de descarte como oportunidad de crecimiento para países con economías emergentes. A su vez, contribuir a la descentralización de la industria, disminuir los niveles de contaminación y mejorar la salud de los consumidores, principalmente por su alto contenido de fibra. Se produjo la harina, se evaluaron cuatro procesos de secado para su elaboración y se caracterizó funcional, fisicoquímica y nutricionalmente como ingrediente de productos. Asimismo, se calcularon los costos de producción para cada proceso, considerando tiempos de proceso, requerimiento energético y consumo de materiales e insumos.

Se evaluaron distintos métodos de secado para la elaboración de la harina de banano verde que cumplieran con los requerimientos del proceso de producción y que tuvieran el potencial de ser implementados a escala industrial. Los cuatro métodos empleados fueron los siguientes: deshidratado por convección, blanqueo con deshidratado por convección, secado por espuma y secado por tambor. Para seleccionar el método que mejor se adecuara al producto, se realizaron análisis funcionales y fisicoquímicos. Entre estos análisis, se determinó el rendimiento, índice de absorción de agua, índice de absorción de aceite, actividad de agua, granulometría, colorimetría, pH, acidez titulable, grados Brix y densidad. También se realizó un análisis proximal para determinar el porcentaje de humedad, cenizas, proteína, grasa, carbohidratos, fibra cruda y fibra dietética. Para complementar los análisis funcionales, fisicoquímicos y nutricionales, también se realizó un análisis de costos de producción.

A. Rendimiento

El Cuadro 12 muestra los resultados del rendimiento de las harinas de banano verde de descarte. El rendimiento es un indicador de la eficiencia del proceso, pero también de la calidad del producto. Indica la cantidad de producto obtenido después del procesamiento de la materia prima. En el caso de la harina de banano verde de descarte, se encontraron rendimientos bajos, entre 21-22%. Esto significa que se requirió una gran cantidad de

banano verde para producir una menor cantidad de harina. Sin embargo, el banano contiene alrededor de 80% de agua que se elimina durante el proceso de secado, lo cual explicaría el bajo rendimiento del producto (Martínez, Cayón y Ligarreto, 2016). En el caso de este producto, además de utilizar la pulpa para su elaboración, se utilizó la cáscara. Esto no solo contribuyó al aporte nutricional del producto, sino que aumentó el rendimiento al disminuir el desperdicio, ya que se desecharon únicamente la corona y la punta. Gonzáles (2017) en su estudio “Elaboración de harina a base de banano verde para la formulación de pastas dirigidas a personas con intolerancia al gluten” reportó rendimientos cercanos al 20% para harina a base de banano verde, que coincidió con los valores determinados en el presente estudio. Además, los valores excedieron el 14.29% de rendimiento calculado por Villegas *et al.* (2012) en el estudio de harina de banano verde enriquecida con micronutrientes Banananut Plus, ya que la planta piloto procesa 700 kg/día de banano verde para producir, en promedio, 100 kg/día de harina.

B. Índices de absorción de agua y aceite

Los cuadros 13 y 14 muestran los resultados de los índices de absorción de agua y aceite, respectivamente. Estos índices son indicadores del rendimiento de una masa porque establecen la capacidad máxima de las harinas para absorber agua y aceite (Vegas, Zavaleta y Vegas, 2017). Todas las harinas de banano presentaron valores elevados para los índices de absorción de agua, lo que indica que contienen una mayor cantidad de compuestos hidrofílicos. Esto es importante para productos en los que se requiere una buena interacción proteína-agua, como en los productos horneados. Las harinas con alta capacidad de absorción de agua también tienen una mayor capacidad de rehidratación (García, Cabrera y Fuenmayor, 2020) (Chaparro *et al.*, 2015). Además de una adecuada capacidad de absorción de agua, las harinas presentaron una buena capacidad de absorción de aceite. Esto es importante para la interacción estructural de los alimentos, que influye en las características organolépticas, palatabilidad y vida útil de productos en los que es deseable la absorción de grasa (Chaparro *et al.*, 2015). Las harinas de frutas y vegetales presentan una mayor capacidad de absorción de agua en comparación con las leguminosas. Para harina de plátano, la capacidad de absorción de agua es de 4-6 g agua/g muestra (4-6 mL agua/g muestra) y para la harina de banano, la capacidad de absorción de grasa es de 2.53-

2.66 g aceite/g muestra (2.75-2.89 mL aceite/g muestra) (Campos, 2001) (Umaña *et al.*, 2013).

C. Actividad de agua

El Cuadro 15 muestra los resultados de la actividad de agua (a_w). Esta característica indica la cantidad de agua disponible en un alimento, lo que depende del tipo y la cantidad de interacciones entre el agua y otros componentes del alimento (Chimborazo, 2015). Este parámetro se determinó utilizando un medidor de actividad de agua AquaLab y se observó que los valores máximo y mínimo fueron de 0.4625 y 0.3480, respectivamente. Todos los valores obtenidos estuvieron por debajo de 0.60, por lo que la harina de banano verde se clasificó como producto no perecedero (Chimborazo, 2015). Un alimento no perecedero es aquel que puede almacenarse durante largos períodos de tiempo sin perder sus características de calidad e inocuidad debido a que existe una menor cantidad de agua disponible para llevar a cabo reacciones químicas, bioquímicas y microbiológicas. En el aspecto microbiológico, la tolerancia depende del tipo de microorganismo; por ejemplo, los mohos se inhiben en valores de a_w inferiores a 0.7, las levaduras a valores de a_w inferiores a 0.8 y las bacterias a valores de a_w inferiores a 0.9 (Chimborazo, 2015). En este parámetro también influye el estado de madurez del banano porque a medida que aumenta su maduración, aumenta su actividad de agua. Al utilizar banano verde para la elaboración de la harina, se tuvo una menor cantidad de agua disponible en el fruto porque la unión de agua aún no estaba debilitada por la reacción de conversión de almidón a azúcares (González, 2017).

D. Granulometría

La granulometría es importante para granos de cereales y sus productos derivados. El análisis granulométrico y control de molienda facilita la estandarización y procesamiento de productos, la identificación de los requisitos de la materia prima y los parámetros legales con relación al tamaño de partículas para estos alimentos. Además, permite eliminar cualquier tipo de contaminación que puedan afectar contra la salud de los consumidores (Dussán, Hurtado y Camacho, 2019). El Cuadro 16 y la Figura 28 resumen el análisis granulométrico de las harinas de banano verde de descarte. Se observó que la harina de

banano verde deshidratada por convección se distribuyó mayormente en el tamiz 25, que retuvo 84.29% del peso total. Esto indicó que el diámetro medio de partícula fue de 0.707 mm. La harina secada por blanqueo y deshidratado por convección se distribuyó en los tamices 40 y 60, que retuvieron 92.54% del peso total. Para esta harina, el diámetro medio fue de 0.564 mm que corresponde al 70.65% del peso retenido en el tamiz 40. La harina secada por espuma se distribuyó mayormente entre los tamices 40 y 60, que retuvieron 23.44% y 46.37% del peso total, respectivamente. En este caso, el diámetro medio estuvo dentro del rango de 0.564-0.335 mm, valores que corresponden a los tamices mencionados anteriormente. Por último, la harina secada por tambor se distribuyó entre los tamices 60, 80 y el fondo, que corresponde a diámetros medios de 0.335mm, 0.214mm y 0.149mm, respectivamente.

Con excepción de las harinas deshidratada por convección y secada por blanqueo y deshidratación por convección, se determinó un diámetro medio de 0.335mm para las harinas de banano verde. Esto se debe a que se observó un mayor porcentaje de peso retenido en el mesh 60 en comparación con los otros tamaños de mesh para cada una de las pruebas de tamizado realizadas. Este resultado coincidió con los del análisis granulométrico realizado por González (2017), lo que significa que se encuentra dentro del rango establecido para las harinas. En este tipo de productos es importante tener un diámetro de partícula adecuado, ya que esto influye sobre las características de los productos finales, tales como su apariencia, textura, absorción de agua, densidad, dureza, entre otros (Leyva, 2009).

E. Colorimetría

El Cuadro 17 resume los resultados del análisis colorimétrico de las harinas de banano de descarte. El color es un indicador de calidad de los alimentos. En harinas, su determinación se puede realizar con un colorímetro que mide los valores de las coordenadas, L^* , a^* y b^* . L^* indica la luminosidad, a^* las coordenadas rojo/verde ($+a$ indica rojo, $-a$ indica verde), y b^* las coordenadas amarillo/azul ($+b$ indica amarillo, $-b$ indica azul) (Dussán, Hurtado y Camacho, 2019).

En el caso de la harina de banano verde secada por el método de deshidratado por convección, los valores de las coordenadas L^* , a^* y b^* fueron de 76.9, 2.80 y 15.86, respectivamente. Su valor de la coordenada L^* reflejó una alta luminosidad. A su vez, presentó tonalidades levemente rojas y amarillas por sus valores positivos de las coordenadas a^* y b^* , respectivamente. En el caso de la harina de banano verde sometida a blanqueo y deshidratada por convección, los valores de las coordenadas L^* , a^* y b^* fueron de 74.5, 3.06 y 13.7. Al igual que la harina de banano deshidratada por convección, esta presentó un valor de L^* que representa una alta luminosidad. Sin embargo, los valores de las coordenadas a^* y b^* fueron menores, pero al ser positivos también evidenciaron la presencia de tonalidades rojizas y amarillentas.

En cuanto a las harinas de banano verde secadas por espuma y por tambor, estas presentaron coloraciones más oscuras debido a la disminución del valor de la coordenada L^* en comparación con las primeras dos harinas. Esto se debe a que, en ambos procesos, se requirió la elaboración de una espuma. Durante este proceso el fruto se vio expuesto a factores mecánicos y fisiológicos, dando lugar a reacciones de pardeamiento enzimático. Estas reacciones son catalizadas por las enzimas polifenol oxidasas (PPO) contenidas en el tejido de la fruta. Al emplear agitación y aireación durante la formación de la espuma, las PPO formaron pigmentos oscuros (González, 2017). Contrariamente a los valores de las coordenadas L^* , los valores de a^* y b^* aumentaron para las harinas de banano secadas por espuma y tambor en comparación con las primeras dos harinas. Además de ser más oscuras, sus tonalidades rojas y amarillas evidenciaron ser mucho más fuertes.

De acuerdo con el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.01.15:07 “Harinas. Harina de Trigo Fortificada. Especificaciones” el color del producto debe ser blanco o cremoso. Cabe mencionar que esta normativa no aplica a la harina de banano verde, pero se utiliza como estándar de comparación por ser un producto de la misma índole. El color blanco o cremoso se traduce a coordenadas colorimétricas L^* de 92.01, a^* de 0.56 y b^* de 9.78 (Montoya *et al.*, 2012). Según estos valores, los métodos de secado que producen la harina de banano verde cuya coloración se asemejó en mayor medida al estándar de comparación fueron los primeros dos, el deshidratado por convección y

blanqueo y deshidratado por convección. En el proyecto “Estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo en el desarrollo de películas biodegradables” Ortega (2016) realizó análisis de color en harina de banano y obtuvo como resultado que las harinas presentan una alta luminosidad, además de tendencias amarillo-rojo como en el presente estudio.

F. pH y acidez titulable

El pH indica el nivel de acidez o alcalinidad en los alimentos. Su determinación es importante para la conservación de alimentos, ya que influye en el crecimiento de determinados microorganismos (González, 2017). El Cuadro 18 muestra los resultados de pH de las harinas de banano verde de descarte. Se observó que dos de los cuatro métodos (deshidratado por convección y secado por tambor) presentaron valores de pH similares a los valores determinados por Toconás *et al.* (2022), quienes obtuvieron como resultado 5.8, y Campos (2001), quien obtuvo como resultado 6.7. Los otros dos métodos (blanqueo y deshidratado por convección y secado por espuma) presentaron valores por debajo de estos, lo que puede deberse a la exposición de las harinas a ácidos o álcalis en distintas reacciones químicas durante su proceso de producción (Pérez, 2022).

Además del pH, también se realizó la determinación de acidez titulable en las harinas. La acidez titulable indica el contenido de ácido en el producto, expresado como porcentaje del ácido predominante. Se puede medir por titulación con un álcali hasta un punto final que depende del cambio de color de un indicador (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013). El Cuadro 19 muestra los resultados de la acidez titulable de las harinas de banano verde de descarte como porcentaje de ácido málico. Las harinas secadas por los métodos de deshidratado por convección y secado por tambor presentaron valores para acidez titulable similares a los valores determinados en otros estudios. En este caso, Farooq *et al.* (2018) determinaron un valor de 0.25% para la harina de banano verde. Por otro lado, las harinas secadas por los métodos de blanqueo y deshidratado por convección y secado por espuma presentaron valores que exceden dicho porcentaje. Al igual que con el pH, esto pudo haber ocurrido por la exposición de las harinas a distintas reacciones químicas durante su proceso de producción (Pérez, 2022). Al realizar una comparación

entre harina de banano verde con un producto similar, como la harina de yuca, se determinó que los valores de pH y acidez titulable coinciden. El pH de la harina de yuca varía de 5.22 a 6.3, mientras que la acidez titulable se encuentra entre 0.011 y 0.064 g/100 ml, que equivale a 0.11%-0.64% (Coxe, Cassule, Rodrigues y Quissindo, 2020).

G. Sólidos solubles

Los sólidos solubles indican la cantidad de sacarosa en una solución y se miden en grados Brix con un refractómetro (González, 2017). El Cuadro 20 muestra los resultados de la determinación de los sólidos solubles en las harinas de banano verde de descarte. Se observó que dos de los cuatro métodos (deshidratado por convección y blanqueo y deshidratado por convección) presentaron grados Brix por debajo de 1, mientras que los otros dos métodos (secado por espuma y secado por tambor) presentaron valores por encima de este. Estas diferencias se deben al uso de maltodextrina y proteína de soya en los últimos dos métodos, lo cual fue necesario para la formación de la espuma. También puede deberse al proceso de elaboración de las harinas porque cualquier cambio en la composición del producto puede generar una variación en la cantidad de azúcares, expresada como cantidad de sólidos solubles, o grados Brix. Cabe mencionar que la concentración de sólidos solubles en el banano aumenta con el proceso de maduración debido a la hidrólisis del almidón. En la caracterización de la calidad del fruto del banano verde realizada por Espinosa *et al.* (2018) se determinó que el contenido de sólidos solubles era de 0.80-1.70, los cuales se asemejan a los valores determinados en el presente estudio. En comparación con harina de yuca, la harina de banano tiene un menor contenido de sólidos solubles porque en el estudio realizado por Coxe, Cassule, Rodrigues y Quissindo (2020) se determinaron valores de 1-2 grados Brix para harina de yuca. Esta diferencia puede ser debido a la composición de la materia prima empleada para la elaboración de las harinas.

H. Densidad

La densidad aparente expresa relación entre masa y volumen, se puede expresar en gramo por mililitro o kilogramo por litro (Bressani, Turcios, Reyes y Mérida, 2001). Su medición es importante porque permite evaluar el proceso de molienda (Ortega, 2016). El

Cuadro 21 muestra los resultados de la determinación de la densidad de la harina de banano verde de descarte. Se encontraron valores entre 0.635 g/mL y 0.805 g/mL, que concuerdan con los valores reportados por Ortega (2016) quien obtuvo densidades entre 0.63 g/mL y 0.83 g/mL, y por Pacheco-Delahaye *et al.* (2008), citados por el autor anterior, quienes obtuvieron un valor de 0.71 g/mL. Los valores de densidad encontrados para harina de banano verde coinciden con los de otras harinas, tales como harina cruda de ñame blanco (0.73 g/mL), ñame amarillo (0.74 g/mL), batata blanca (0.69 g/mL), batata morada (0.67 g/mL) y batata anaranjada (0.69 g/mL) determinados por Techeira *et al.* (2014).

I. Análisis proximal

El Cuadro 22 y las Figuras 29-33 muestran los resultados del análisis proximal de las harinas de banano verde de descarte. El análisis proximal permite evaluar las características de los alimentos y sus componentes. Se puede aplicar a materia prima y a producto terminado para cumplir con los controles nutricionales establecidos. Los resultados obtenidos se utilizan para la elaboración de tablas nutricionales (González, 2017). Para su determinación en el proyecto se emplearon los métodos de la AOAC, a través de los cuales se obtuvieron los porcentajes de humedad, cenizas, proteína, grasa, carbohidratos, fibra cruda y fibra dietética.

El contenido de humedad en harinas es importante ya que es un indicador de la estabilidad del producto durante su almacenamiento (Montero y Salinas, 2017). Los valores de humedad encontrados fueron de 2.22%, 3.17%, 3.1% y 3.6% para los métodos de deshidratado por convección, blanqueo y deshidratado por convección, secado por espuma, y secado por tambor, respectivamente. A pesar de que se evidenció una diferencia en los porcentajes de humedad entre todos los métodos de secado, con excepción de los métodos de blanqueo y deshidratado por convección y secado por espuma que presentaron valores similares, todos los porcentajes representan un bajo contenido de humedad. A su vez, muestran una alta estabilidad debido a que es menos probable que ocurra una descomposición del producto si no existen las condiciones adecuadas para el crecimiento de microorganismos, que incluyen disponibilidad de agua y nutrientes, temperatura adecuada, entre otras. Los cuatro métodos analizados presentaron porcentajes de humedad

aprobados por el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.01.15:07 en el que se establece un valor máximo de humedad del 15.5% en harina de trigo. No existe un porcentaje específico para humedad en harina de banano, por lo que valores inferiores al 12% pueden ser considerados óptimos (Montero y Salinas, 2017). González (2017) en su estudio “Elaboración de harina a base de banano verde para la formulación de pastas dirigidas a personas con intolerancia al gluten” reportó un porcentaje de humedad de 4.56% para la harina de banano verde, que es similar a los valores determinados en el proyecto. Al realizar una comparación del contenido de humedad de harina de banano con otros tipos de harina, se determinó que todos los tipos de harina similares a la de banano presentan porcentajes de humedad inferiores a 15.5%. En un estudio realizado por Umaña *et al.* (2013) se determinaron porcentajes de humedad de 9.59% para harina de calabaza; 9.26% para harina de champiñón; 3.30% para harina de chachafruto; 5.85% para harina de cáscara de piña; 7.58% para harina de brócoli; entre otros.

Los valores de ceniza encontrados fueron de 4.62%, 3.3%, 4.30% y 4.49% para los métodos de deshidratado por convección, blanqueo y deshidratado por convección, secado por espuma y secado por tambor, respectivamente. El porcentaje de ceniza representa la cantidad de materia seca en un alimento, que contiene minerales como calcio, fósforo, zinc, potasio y magnesio (Montero y Salinas, 2017). Estos valores difirieron del valor máximo de 1.0% de cenizas para harina de trigo establecido por el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.01.15:07, ya que lo excedieron. Sin embargo, se comprobó que los valores se asemejan al porcentaje de ceniza de 3.11% encontrado por Montero y Salinas (2017) en su caracterización de harina de banano verde, así como al porcentaje de ceniza de 3.45% de Sosa (2011) y de 3.65% de Martínez (2009) a quienes se hace referencia en este mismo estudio. En el estudio realizado por Umaña *et al.* (2013) se determinaron porcentajes de ceniza para otros tipos de harina, los cuales también exceden el 1.0% indicado en el RTCA 67.01.15:07; para harina de calabaza se determinó 3.67% de cenizas; 3.71% para harina de chachafruto; 7.23% para harina de champiñón; 3.90% para harina de cáscara de piña; 8.27% para harina de brócoli; entre otros.

Los valores de proteína encontrados fueron de 4.90%, 4.89%, 13.11% y 12.58% para los métodos de deshidratado por convección, blanqueo y deshidratado por convección, secado por espuma, y secado por tambor, respectivamente. Se evidenció que los resultados obtenidos para los primeros dos métodos difirieron de los resultados obtenidos para los últimos dos métodos, especialmente del de secado por tambor. Esto debido a que, en los métodos de secado por espuma y por tambor, se requirió de la elaboración de una espuma en la que se utilizó proteína de soya, aumentando así el contenido proteico de las harinas. Según el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.01.15:07, los primeros dos métodos de secado no cumplieron con el mínimo porcentaje de proteína, siendo este de 7.0%. Sin embargo, los últimos dos métodos sí, ya que lo excedieron. Cabe mencionar que el porcentaje de proteína en harina de trigo es mayor debido a que el trigo es un cereal que naturalmente contiene proteínas, mientras que el banano, por ser una fruta, está compuesto principalmente por carbohidratos. Además, la harina de trigo contiene gluten, una proteína compuesta principalmente por gliadinas y gluteninas, las cuales aportan a las características de una masa pero también a su valor nutricional, específicamente su contenido de proteína (Villanueva, 2014). Contrariamente a la comparación con harina de trigo, los primeros dos métodos presentaron porcentajes de proteína que se asemejan a aquellos determinados por Montero y Salinas (2017) de 2.35%, por Gonzáles (2017) de 5.11% y por Ospina (2014) de 4.10% y 4.00% en harinas de banano. Los últimos dos métodos también presentaron valores que exceden estos, pero esto podría suponer una ventaja competitiva frente otros tipos de harina, siempre tomando en cuenta que la soya es un alérgeno. El valor proteico de la harina de banano es relativamente bajo en comparación con otros tipos de harina, tales como harina de champiñón (37.16%); harina de chachafruto (19.25%); y harina de brócoli (27.05%). Sin embargo, se asemeja a los porcentajes de proteína de harina de calabaza (8.53%) y harina de cáscara de piña (6.19%) (Umaña *et al.*, 2013).

Los valores de grasa encontrados estuvieron dentro de un rango de 0.41% a 1.4%, que representa un bajo contenido de grasa. Esto se debe principalmente a la composición del banano verde. En su estudio “Valor nutritivo de harina de banano verde” Santiago (2005) indica que, naturalmente, el banano contiene alrededor de 0.2%-0.3% de grasa, valor que se mantiene a pesar del proceso de secado al que se somete la fruta para la elaboración

de la harina. Además, hace referencia a un estudio realizado por Bressani, Aguirre y Arroyave (1961), en el que se determinó que los porcentajes de grasa para harina de banano verde variaron entre 0.2%-1.6%, los cuales coinciden con los valores encontrados en el presente estudio. El contenido de grasa de la harina de banano es menor comparado con las harinas de maíz, harina de trigo integral y harina de avena, cuyos porcentajes de grasa encontrados por Coral y Gallegos (2015) en su estudio “Determinación Proximal de los Principales Componentes Nutricionales de Harina de Maíz, Harina de Trigo Integral, Avena, Yuca, Zanahoria Amarilla, Zanahoria Blanca y Chocho” fueron de 3.95%, 2.93% y 7.50%, respectivamente. Sin embargo, su contenido de grasa es mayor comparado con las harinas de yuca, zanahoria amarilla y zanahoria blanca, cuyos porcentajes de grasa fueron de 0.25%, 0.09% y 0.10%, respectivamente (Coral y Gallegos, 2015).

Los valores de carbohidratos encontrados estuvieron alrededor de 70% y 80%. Al igual que con el porcentaje de grasa, el contenido de carbohidratos en la harina de banano se debe principalmente a la composición del banano verde utilizado como materia prima para su elaboración. En el estudio realizado por Montero y Salinas (2017) se determinó un porcentaje de carbohidratos de 76.53%, que coincidió con los valores determinados en el presente estudio. En otro estudio, Santiago (2005) determinó porcentajes de carbohidratos dentro del mismo rango de 70%-80%. Además, Santiago (2005) citó a Bressani, Aguirre y Arroyave (1961), quienes determinaron 69.92% de carbohidratos para harina de banano verde con cáscara y de 76.92% para harina de banano verde sin cáscara, valores que también coincidieron con los mencionados anteriormente. Estos porcentajes superaron los encontrados por Umaña *et al.* (2013) para harina de champiñón (45.18%) y harina de brócoli (55.28%), así como los encontrados por Coral y Gallegos (2015) para harina de yuca (33.40%), de zanahoria amarilla (8.38%) y de zanahoria blanca (26.87%). Sin embargo, coincidieron con el porcentaje de carbohidratos para la harina de calabaza (77.05%); de chachafruto (73.40%); de cáscara de piña (83.77%); de maíz (73.49%); de trigo integral (70.22%); y de avena (70.37%) determinados en los dos estudios mencionados anteriormente.

Los valores de fibra cruda encontrados estuvieron dentro de un rango de 0.02%-0.12%, que se encuentran por debajo del 0.14% determinado por Montero y Salinas (2017). De igual manera difieren del 3.0% determinado por Santiago (2015) y del 1.20% encontrado por Jiménez y Larios (2003). Además de fibra cruda, también se determinó el contenido de fibra dietética en la harina de banano. Los valores encontrados fueron de 9.1%, 9.74%, 9.4% y 9.43% para los métodos de deshidratado por convección, blanqueo y deshidratado por convección, secado por espuma, y secado por tambor, respectivamente. Según Montero y Salinas (2017) el banano contiene entre 6% y 15% de fibra dietética, lo cual permite la clasificación de la harina de banano como harina integral. La presencia de fibra dietética en los alimentos es beneficiosa para la salud porque contribuye a la prevención y tratamiento de obesidad, prevención de algunos tipos de cáncer, regulación de colesterol y glucosa, entre otros. La fibra dietética que proviene de las frutas tiene mejores propiedades funcionales que la fibra dietética proveniente de cereales. Entre estas propiedades se encuentran el balance entre fibra dietética soluble e insoluble, alta capacidad de retención de agua, alta capacidad de retención de lípidos, entre otras. Además, presentan altos porcentajes de fibra dietética total y mejores relaciones de la fibra dietética soluble e insoluble que los cereales (Hincapié *et al.*, 2010).

J. Selección del método de secado para la producción de harina de banano verde de descarte

Para seleccionar el proceso de secado que se adecuara más al producto, se elaboraron dos matrices de decisión en las que se colocó una puntuación de 1 si el resultado del parámetro evaluado coincidía con lo establecido en la literatura y 0 si no coincidía. En la primera se evaluaron las características funcionales y fisicoquímicas de las harinas de banano verde de descarte y en la segunda sus propiedades nutricionales. El Cuadro 23 y la Figura 34 resumen los resultados de la primera matriz de decisión. Se evidenció que el método de deshidratado por convección obtuvo el mayor puntaje en comparación con los métodos de blanqueo y deshidratado por convección, secado por espuma y secado por tambor. Esto se debe a que hubo una mayor similitud entre las características funcionales y fisicoquímicas de la harina con los resultados de otros estudios, comparado con los otros tres métodos de secado. El Cuadro 24 y la Figura 35 resumen los resultados de la segunda

matriz de decisión pero, a diferencia de la evaluación de las características funcionales y fisicoquímicas, todos los métodos obtuvieron el mismo resultado. Esto se traduce en que el método de secado no influyó en el valor nutricional de la harina de banano verde de descarte, sino solamente en sus características funcionales y fisicoquímicas.

En adición al análisis de las características funcionales, fisicoquímicas y nutricionales de las harinas de banano verde de descarte, se realizó un análisis de costos para definir el método más conveniente. Para determinar el costo de producción de la harina de banano verde se tomaron en cuenta los tiempos de proceso, el requerimiento energético y el consumo de materiales e insumos para cada uno de los métodos de secado. Se obtuvieron costos de producción de Q13.67, Q13.90, Q15.10 y Q24.05 por kilogramo de harina para los métodos de deshidratado por convección, blanqueo y deshidratado por convección, secado por espuma y secado por tambor, respectivamente (véase cuadros 25-28). Al comparar los resultados, se determinó que el proceso de secado más económico para la producción de harina de banano verde de descarte es el método de deshidratado por convección. A diferencia de este método de secado, los otros métodos requieren de procesos adicionales como el blanqueo o la formación de la espuma. Cabe mencionar que para el secado por tambor, el costo de producción aumenta en gran medida por el consumo de combustible de la caldera necesaria para generar el vapor para el equipo de secado.

IX. CONCLUSIONES

- Se elaboró una harina de banano verde de descarte que puede ser utilizada como una harina multipropósito por su aporte a las características funcionales, fisicoquímicas, organolépticas y valor nutricional de los alimentos. Puede utilizarse en una variedad de productos por su sabor neutral, buena capacidad de absorción de agua y aceite, tamaño de partícula y color. También es adecuada como alternativa alimentaria porque no contiene gluten, permitiéndole sustituir parcial o totalmente la harina de trigo.
- Se caracterizó funcional, fisicoquímica y nutricionalmente la harina de banano verde de descarte como ingrediente de productos. Se determinaron características funcionales y fisicoquímicas adecuadas para este tipo de producto, así como características nutricionales que contribuyen a una alimentación saludable y equilibrada. Es una buena fuente de energía por su elevado contenido de carbohidratos y, por su alto contenido de fibra, tiene la capacidad de mejorar la salud digestiva de los consumidores.
- Se evaluaron los procesos de deshidratado por convección, blanqueo y deshidratado por convección, secado por espuma y secado por tambor para el secado de banano verde de descarte en la elaboración de la harina. Se determinó que el método de deshidratado por convección fue el más adecuado en términos de características funcionales y fisicoquímicas de la harina ya que presentó un puntaje total de 7 en la matriz de decisión. Sin embargo, en términos de propiedades nutricionales, todas las harinas presentaron el mismo puntaje total de 5 en la matriz de decisión.
- Se definió el método más conveniente según los costos de producción, considerando tiempos de proceso, requerimiento energético y consumo de materiales e insumos. Se determinó que el método de deshidratado por convección el más económico para la producción de harina de banano verde de descarte en comparación con los otros tres métodos.

X. RECOMENDACIONES

- Determinar el contenido de almidón, amilosa y amilopectina en la harina de banano verde de descarte porque estos carbohidratos le confieren al producto propiedades fisicoquímicas y funcionales, tales como solubilidad, capacidad de absorción de agua y poder de hinchamiento.
- Evaluar otros tipos de secado tradicionales y no tradicionales para la producción de harina de banano verde de descarte que permitan mejorar la calidad y sostenibilidad del producto, aumentar la eficiencia del proceso, reducir los costos de producción y disminuir el impacto ambiental.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. (1990). *Official methods of analysis*. 15th Edition, Association of Official Analytical Chemist, Washington DC
- Arrázola, G., Alvis, A. y García, C. (2016). Efecto del tratamiento de escaldado sobre la actividad enzimática de la polifenoloxidasas en dos variedades de batata (*Ipomoea batatas Lam.*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 80-88.
- Banco de Guatemala. (2022). *Ingreso Mensual de Divisas por Exportaciones, 2016-2022*. BANGUAT.
<https://banguat.gob.gt/es/page/ingreso-mensual-de-divisas-por-exportaciones-2016-2022>
- Blasco, G. y Gómez, F. (2014). *Propiedades funcionales del plátano (Musa sp)*. *Revista Médica de la Universidad Veracruzana*.
http://www.soporte.uv.mx/rm/num_anteriores/revmedica_vol14_num2/articulos/propiedades.pdf
- Bermúdez, C., Orellana, P., García, L., Veitía, N., Padrón, Y. y Romero, C. (2009). Caracterización físico-química del fruto maduro en tres mutantes de FHIA-21 (*Musa AAAB*). *Biotecnología Vegetal* 9(4).
<https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/328/html>
- Beuchat, L. (1977). Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25, 258-261.
- Campos, J. (2001). *Características químicas y funcionales de las harinas de musa paradisiaca y musa sapientum*. [Tesis de Licenciatura, Universidad del Valle].
<https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/bitstream/handle/123456789/123/Campos%20Paredes,%20Juan%20Alejandro.PDF?sequence=1>
- Cano, O. (2014). Secador de tambor. *Tipos de secado en alimentos*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”]

<https://1library.co/article/secador-de-tambor-tipos-de-secado-en-alimentos.qvj19xlq>

Chacón, S., Víquez, F. y Chacón, G. (1987). Escala físico-química de maduración del banano. *Fruits*, 42(2),95-102.

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjJvp6S5cr9AhXoRTABHdNkBh8QFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Frevues.cirad.fr%2Findex.php%2Ffruits%2Farticle%2Fdownload%2F32197%2F36915%2F&usg=AOvVaw2io3_b7VGnh4ZartO2c37H

Chaparro, S., Lara, A., Sandoval, A., Sosa, S., Martínez, J. y Gil, J. (2015). Caracterización funcional de la almendra de las semillas de mango (*Mangifera indica L.*). *Ciencia en Desarrollo*, 6(1),67-75.

<http://www.scielo.org.co/pdf/cide/v6n1/v6n1a09.pdf>

Chaparro, S., Tavera, M., Martínez, J. y Gil, J. (2014). Propiedades funcionales de la hariana y de los aislados proteínicos de la semilla de guanábana (*Annona muricata*). *Actualidad & Divulgación Científica*, 17(1),151-159.

<http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n1/v17n1a17.pdf>

Chimborazo, M. (2015). *Elaboración de una masa de harinas trigo-arroz laminada de humedad intermedia para alimentos gourmet* [Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional].

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11438/1/CD-6483.pdf>

Coral, V. y Gallegos, R. (2015). *Determinación Proximal de los Principales Componentes Nutricionales de Harina de Maíz, Harina de Trigo Integral, Avena, Yuca, Zanahoria Amarilla, Zanahoria Blanca y Chocho*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Coxe, B., Cassule, A., Rodrigues, O. y Quissindo, I. (2020). Caracterización fisicoquímica de la harina de yuca en el municipio de Malanje (Angola). *Revista Digital de Medio Ambiente “Ojeando la agenda”*, 664.

Dole. (2010). *Manual de Calidad. Defectos y Tolerancias*. Dole Fresh Fruit International Ltd.

Dussán, S., Hurtado, D. y Camacho, J. (2019). Granulometría, Propiedades Funcionales y Propiedades de Color de las Harinas de Quinoa y Chontaduro. *Información tecnológica* 30(5).

https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000500003

Editor DCA. (14 de enero de 2022). Unidos para proteger la producción de banano. *Diario de Centro América*. <https://dca.gob.gt/noticias-guatemala-diario-centro-america/unidos-para-proteger-la-produccion-de-banano/>

Ekpong, A. *et al.* (2016). The effects of maltodextrin as a drying aid and drying temperature on production of tamarind powder and consumer acceptance of the powder. *International Food Research Journal*, 23(1),300-308

Espinosa, J., Centurión, D., Mayo, A., García, C., Martínez, A., García, P. *et al.* (2018). *Calidad de harina de tres cultivares de banano (Musa spp.) resistentes a la enfermedad Sigatoka negra en Tabasco*.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000200217

Fagiani, M. y Tapia, A. (2007). *El cultivo de banano. "Prácticas de manejo"*. INTA [Archivo PDF].

<https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-banano- manejo .pdf>

Farooq, M., Khan, I., Illyas, N., Saboor, A., Kakar, K., Bakhtiar, M., Ilyas, N., Khan, S., Khan, S., Ahmed, S. y Ahmed, I. (2018). Study on the Physico-Chemical Characteristics of Value Added Banana Products. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*, 4(4),83-87.

https://ijoe-ar.com/assets/articles_menuscripts/file/IJOEAR-APR-2018-20.pdf

Gall, F. (1980). *Diccionario Geográfico de Guatemala*. Instituto Geográfico Nacional.

García, C., Giraldo, G., Hurtado, H. y Mendivil, C. (2006). Cinética enzimática de la polifenol oxidasa del banano gros michel en diferentes estados de maduración. *Vitae* 13(2),13-19.

<http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v13n2/v13n2a02.pdf>

García, Y., Cabrera, D. y Fuenmayor, C. (2020). Obtención y caracterización de harinas compuestas de Cucurbita moschata D. y Cajanus cajan L. como fuentes alternativas de proteína y vitamina A. *Acta Agronómica*, 69(2),89-96.

<http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v69n2/0120-2812-acag-69-02-89.pdf>

Gómez, M. (2017). *Efectos de la suma térmica en el desarrollo de racimos de banano (Musa acuminata AAA) en dos zonas productoras distintas*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil].

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7714/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO-119.pdf>

González, L. (2017). *Elaboración de harina a base de banano verde para la formulación de pastas dirigidas a personas con intolerancia al gluten*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Rafael Landívar].

<http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2017/02/07/Gonzalez-Lourdes.pdf>

Grossi, G., Ohaco, E. y De Michelis, A. (2015). *Determinación de fibra dietética total, soluble e insoluble en hongos comestibles de cultivo pleurotus ostreatus*. INTA. [Archivo PDF].

https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_determinacin_de_fibra.pdf

Hanna Instruments. (2022). *Determinación de acidez titulable total en harinas, masa y pan*.

<https://www.hannabolivia.com/blog/post/518/determinacion-acidez-tituable-total-en-harinas-masa-y-pan#:~:text=Mediante%20el%20método%20AACC%2002,se%20homogeniza%20por%2030%20min.>

Hincapié, G., Omaña, M., Hincapié, A., Arias, Z. y Vélez, A. (2010). Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades funcionales de la fibra dietaria presente en la citropulpa. *Lasallista de Investigación*, 7(2).

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492010000200009

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Harinas de origen vegetal. Determinación de la acidez titulable* [Archivo PDF].

<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/521-1R.pdf>

Instituto Nacional de Estadística [INE]. (2020). *Estadísticas Agropecuarias 2020* [Archivo PDF].

<https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2021/09/30/20210930192519ITIf0Taxw7mbshQNenoLw9A9K5cR4pMt.pdf>

Jiguan, B. (25 de marzo de 2019). Guatemala es el tercer exportador de banano. *Diario de Centro América*. <https://dca.gob.gt/noticias-guatemala-diario-centro-america/guatemala-es-el-tercer-exportador-de-banano/>

Jiménez, A. y Larios, S. (2003). *Análisis proximal y aceptabilidad de harina de banano en tortillas, pan dulce y atol*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de El Salvador].

<https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5684/1/10125845.pdf>

Khoza, M., Kayitesi, E. y Dlamini, B. (2021). Physicochemical Characteristics, Microstructure and Health Promoting Properties of Green Banana Flour. *Foods* 10(12),2894

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8700615/#B9-foods-10-02894>

Leyva, M. (2009). *Caracterización reológica y de tamaño de partícula de harinas de maíz, gluten de maíz, trigo, soya y arroz utilizadas en la industria de alimentos extruidos*. [Tesis de Ingeniería, Universidad de los Andes].

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/23893/u346079.pdf?sequence=1>

- Martínez, C., Cayón, G. y Ligarreto, G. (2016). *Composición química y distribución de materia seca del fruto en genotipos de plátano y banano* [Archivo PDF].
<http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v17n2/v17n2a06.pdf>
- Montero, S. y Salinas, J. (2017). *Elaboración de harina de plátano verde (Musa paradisiaca) y su uso potencial como ingrediente alternativo para pan y pasta fresca*. [Tesis de Licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano].
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/bd9f3e6d-7003-4a00-8f5e-bf1f49f9eb7d/content>
- Montoya, J., Giraldo, G. y Lucas, J. (2012). Determinación del índice de blancura en harina de trigo comercial. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria*, 17(2),217-227.
<https://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914130.pdf>
- Núñez, F. (2003). *Extracción y caracterización del almidón de banano verde y de su residuo de pulpa*. [Tesis de Licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano].
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/c1bc1021-7e98-47ae-a451-9a2e4333c6a7/content>
- Ortega, J. (2016). *Estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la harina de banano (Musa acuminata AAA) de rechazo en el desarrollo de películas biodegradables*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Técnica de Ambato].
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/22874/1/AL599.pdf>
- Ospina, A. (2014). *Caracterización proximal y estudio de la estabilidad de diferentes materias primas de interés en la preparación de un alimento complementario destinado a la población infantil del departamento de Chocó (Colombia)*. [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia].
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/57459/TFM%20OSPINA%20SÁNCHEZ%2C%20ADRIANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pérez, D. (2022). *Estudio de la variación de las propiedades fisicoquímicas en la harina de trigo después de la molienda de acuerdo a su tiempo en reposo*. [Tesis de Química de Alimentos, Universidad Central del Ecuador].

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/29718/1/UCE-FCQ-CQA-PEREZ%20DAYANNA.pdf>

Pineda, S. (2013). *Utilización de harina de malanga (Xanthosoma sagittifolium) en la obtención de productos de panificación*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Tecnológica Equinoccial].

http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5042/1/53961_1.pdf

Ramírez, C., Tapia, A. y Calvo, P. (2011). Evaluación de la calidad de fruta de banano de altura que se produce en el Cantón de Turrialba, Costa Rica. *InterSedes*, XI, 114-136.

https://www.researchgate.net/publication/279483145_EVALUACION_DE_LA_CALIDAD_DE_FRUTA_DE_BANANO_DE_ALTURA_QUE_SE_PRODUCES_EN_EL_CANTON_DE_TURRIALBA_COSTA_RICA/download

Rivada, F. (2008). *Planta industrial de producción de ácido cítrico a partir de melazas de remolacha*. [Tesis de Ingeniería, Universidad de Cadiz].

<https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/6411/34254675.pdf>

Rodríguez, G. (2012). *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión. Municipio de San Francisco Zapotitlán. Departamento de Suchitepéquez*. [EPS, Universidad de San Carlos].

http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03_0796_v6.pdf

Salazar, R. (2004). *Evaluación de tres tipos de bolsas de protección del racimo de banano y la aplicación de insecticida-fungicida a la misma, en la Agropecuaria Bonampal, aldea Cerro Colorado, La Gomera, Escuintla* [Tesis de Ingeniería, Universidad de San Carlos].

http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2069.pdf

- Santiago, L. (2005). *Valor nutritivo de harina de banano verde*. [Tesis de Nutricionista, Universidad de San Carlos].
http://www.biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2337.pdf
- Santos, B., Blanco, H., Sierra, D., Torres, J. y Rincón, A. (2013). *Maquinaria o equipos de reducción de tamaño*. [Trabajo para Operaciones Unitarias I, Universidad Francisco de Paula Santander].
https://datospdf.com/download/maquinaria-reduccion-de-tamao-_5a449da3b7d7bc422b79b8fa_pdf
- Sepúlveda, A. (2010). *Efecto de inhibidores del pardeamiento enzimático en peras cv. Packham's triumph mínimamente procesadas*. [Tesis de Ingeniería, Universidad de Chile].
https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112416/Memoria_titulo_Abigai_1_Sepulveda.pdf?sequence=1
- Serra, H. y Cafaro, T. (2007). Ácido ascórbico: desde la química hasta su crucial función protectora en ojo. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 41(4),525-532.
<https://www.redalyc.org/pdf/535/53541410.pdf>
- Tirira, P. (2014). *Secado al Vacío Mediante Espumación del Sistema de Pulpa de Mora con Albúmina de Huevo*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Central de Ecuador].
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3777/1/T-uce-0017-96.pdf>
- Techeira, N., Sívoli, L., Perdomo, B., Ramírez, A. y Sosa, F. (2014). Caracterización fisicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), batata (*Ipomoea batatas* Lam) y ñame (*Dioscorea alata*), cultivadas en Venezuela. *Interciencia* 39(3),191.
<https://www.redalyc.org/pdf/339/33930206009.pdf>
- Toconás, M., Villalva, F., Sajama, J., Olivares, A., Ramón, A., Alcocer, J. et al. (2022). Harina de banana: producción, caracterización fisicoquímica, tecnológica y funcional. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 27(1), 7-16.

<https://renhyd.org/renhyd/article/view/1732/1114>

Umaña, J., Álvarez, C., Lopera, S., y Gallardo, C. (2013). *Caracterización de harinas alternativas de origen vegetal con potencial aplicación en la formulación de alimentos libres de gluten*. Universidad de Antioquia [Archivo PDF].

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiM7_zC6dT9AhWai7AFHVGzAG4QFnoECAsQAQ&url=https%3A%2F%2Falimentos hoy.acta.org.co%2Findex.php%2Fhoy%2Farticle%2Fdownload%2F230%2F223&usg=AOvVaw3dPDcvcN6IMfpZzxsDt6Ju

Valverde, S. y Amurrio, D. (2010). *Secado en espuma de jugo de camu-camu (Myrciaria dubia) y plátano (Musa sp.)*. *Acta Nova*, 4(4),535-552.

<http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/pdf/ran/v4n4/v4n4a05.pdf>

Vegas, R., Zavaleta, A. y Vegas, C. (2017). Efecto del pH y cloruro de sodio sobre las propiedades funcionales de harina de semillas de *lupinus mutabilis* “tarwi” variedad criolla. *Agroindustrial Science*, 7(1), 49-55.

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwid98S-ndf9AhWtSTABHa6UDbsQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F6583473.pdf&usg=AOvVaw2L0iaU3LypiwaTGbq7QYcD>

Villalobos, H., Vargas, Á. y Obando, J. (2020). Elaboración de harina de papa con energías limpias. *Ventana*, 13(1), 31-33.

<https://revistas.tec.ac.cr/index.php/ventana/article/view/5437/5171>

Villanueva, R. (2014). El gluten de trigo y su rol en la industria de la panificación. *Ingeniería Industrial*, 32, 231-246.

<https://www.redalyc.org/pdf/3374/337432679010.pdf>

Villegas, B., Torres, J., Ospina, S., Rocha, L. y Laverde, J. (2012). Banananut Plus: Harina de Banano Verde Enriquecida con Micronutrientes. *Vitae*, 19(1),S213-S215.

<https://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914062.pdf>

XII. ANEXOS

Cuadro 29. Datos utilizados para calcular el rendimiento de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Método de secado	Peso banano (kg)	Peso desechos (kg)	Peso de banano utilizado (kg)	Peso de harina (kg)
Deshidratado por convección	1.58	0.08	1.50	0.33
Blanqueo y deshidratado por convección	1.51	0.07	1.44	0.32
Secado por espuma	0.96	0.05	0.90	0.20
Secado por tambor	1.00	0.05	0.95	0.20

Fuente: elaboración propia

Cuadro 30. Datos utilizados para calcular la absorción de agua de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Método de secado	Peso muestra (g)	Peso muestra con agua absorbida (g)	Porcentaje de agua absorbida (%)
Deshidratado por convección	1.0012	4.6703	366.47
	1.0018	4.9235	391.47
Blanqueo y deshidratado por convección	1.0012	4.0046	299.98
	1.0031	4.2194	320.64
Secado por espuma	1.0010	3.3678	236.44
	1.0009	3.2996	229.66
Secado por tambor	1.0054	6.0859	505.32
	1.0068	6.2577	521.54

Fuente: elaboración propia

Cuadro 31. Datos utilizados para calcular la absorción de aceite de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Método de secado	Peso muestra (g)	Peso muestra con aceite absorbido (g)	Porcentaje de aceite absorbido (%)
Deshidratado por convección	1.0066	2.2844	126.94
	1.0078	2.1783	116.14
Blanqueo y deshidratado por convección	1.0027	2.2097	120.37
	1.0085	2.1237	110.58
Secado por espuma	1.0061	2.1376	112.46
	1.0079	2.0103	99.45
Secado por tambor	1.0046	1.9694	96.04
	1.0075	2.0485	103.33

Fuente: elaboración propia

Cuadro 32. Datos utilizados para la actividad de agua de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Método de secado	Actividad de agua	Temperatura (°C)
Deshidratado por convección	0.465	25.0
	0.460	22.8
Blanqueo y deshidratado por convección	0.345	25.3
	0.351	22.3
Secado por espuma	0.443	25.1
	0.458	23.5
Secado por tambor	0.458	23.8
	0.458	24.0

Fuente: elaboración propia

Cuadro 33. Análisis granulométrico de harina secada con deshidratado por convección

Tamiz	Peso contenedor (g)	Peso total (g)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Peso acumulado (g)
25	89.85	93.10	3.25	6.50	3.25
40	84.02	121.35	37.33	74.66	40.58
60	80.27	87.75	7.48	14.96	48.06
80	81.19	82.24	1.05	2.10	49.11
100	80.23	80.38	0.15	0.30	49.26
Fondo	101.02	101.76	0.74	1.48	50.00

Fuente: elaboración propia

Cuadro 34. Análisis granulométrico de harina secada por blanqueo y deshidratado por convección

Tamiz	Peso contenedor (g)	Peso total (g)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Peso acumulado (g)
25	89.90	89.93	0.03	0.06	0.03
40	84.05	119.39	35.34	70.65	35.37
60	80.27	91.22	10.95	21.89	46.32
80	81.21	84.15	2.94	5.88	49.26
100	80.24	80.57	0.33	0.66	49.59
Fondo	101.02	101.45	0.43	0.86	50.02

Fuente: elaboración propia

Cuadro 35. Análisis granulométrico de harina secada con espuma

Tamiz	Peso contenedor (g)	Peso total (g)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Peso acumulado (g)
25	89.90	89.93	0.03	0.06	0.03
40	84.05	95.77	11.72	23.44	11.75
60	80.29	103.48	23.19	46.37	34.94
80	81.22	87.58	6.36	12.72	41.30
100	80.24	85.38	5.14	10.28	46.44
Fondo	101.04	104.61	3.57	7.14	50.01

Fuente: elaboración propia

Cuadro 36. Análisis granulométrico de harina secada con tambores

Tamiz	Peso contenedor (g)	Peso total (g)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Peso acumulado (g)
25	89.90	89.90	0.00	0.00	0.00
40	84.07	85.14	1.07	2.14	1.07
60	80.32	101.00	20.68	41.29	21.75
80	81.23	92.00	10.77	21.51	32.52
100	80.24	82.58	2.34	4.67	34.86
Fondo	101.02	116.24	15.22	30.39	50.08

Fuente: elaboración propia

Cuadro 37. Datos utilizados para análisis colorimétrico de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Método de secado	L*	a*	b*
Deshidratado por convección	76.54	2.81	15.86
	77.18	2.79	15.85
Blanqueo y deshidratado por convección	73.27	3.12	13.86
	75.72	2.99	13.58
Secado por espuma	67.19	10.65	25.03
	65.85	10.70	24.92
Secado por tambor	63.21	10.66	27.69
	63.57	10.51	27.59

Fuente: elaboración propia

Cuadro 38. Datos utilizados para la determinación del pH de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Método de secado	pH
Deshidratado por convección	5.95
	5.91

Método de secado	pH
Blanqueo y deshidratado por convección	5.52
Blanqueo y deshidratado por convección	5.50
Secado por espuma	5.36
	5.34
Secado por tambor	6.90
	6.89

Fuente: elaboración propia

Cuadro 39. Datos utilizados para la determinación de acidez titulable de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Método de secado	Volumen de NaOH para titulación (mL)	Porcentaje de ácido málico (%)
Deshidratado por convección	1.90	0.25
	1.80	0.24
Blanqueo y deshidratado por convección	2.40	0.31
	2.30	0.31
Secado por espuma	3.80	0.51
	3.80	0.51
Secado por tambor	1.10	0.14
	1.30	0.17

Fuente: elaboración propia

Cuadro 40. Datos utilizados para la determinación de grados Brix de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Método de secado	Grados Brix
Deshidratado por convección	0.60
	0.60
Blanqueo y deshidratado por convección	0.20
	0.30
Secado por espuma	1.50
	1.70
Secado por tambor	1.30
	1.20

Fuente: elaboración propia

Cuadro 41. Datos utilizados para la determinación de la densidad de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Método de secado	Volumen (mL)	Peso harina (g)
Deshidratado por convección	20	12.70
Blanqueo y deshidratado por convección	20	13.50
Secado por espuma	20	16.10
Secado por tambor	20	14.78

Fuente: elaboración propia

Cuadro 42. Datos utilizados para la determinación de humedad de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Muestra	Método de secado	Peso cápsula (g)	Peso muestra (g)	Peso total (g)	Peso total seco (g)	Humedad (%)
1	Deshidratado por convección	15.2848	10.0081	25.2929	24.7849	2.0085
2		15.6872	10.0023	25.6895	25.0816	2.3663
3		16.5258	10.0024	26.5282	25.9240	2.2776
4	Blanqueo y deshidratado por convección	15.9726	10.0013	25.9739	25.1476	3.1813
5		15.9141	10.0005	25.9146	25.0910	3.1781
6		16.0896	10.0011	26.0907	25.2695	3.1475
7	Secado por espuma	15.9173	10.0037	25.9210	25.0902	3.2051
8		16.3678	10.0022	26.3700	25.5412	3.1430
9		17.6186	10.0021	27.6207	26.7981	2.9782
10	Secado por tambor	15.7144	10.0011	25.7155	24.7752	3.6565
11		16.3049	10.0032	26.3081	25.3731	3.5540
12		17.2964	10.0062	27.3026	26.3675	3.4249

Fuente: elaboración propia

Cuadro 43. Datos utilizados para la determinación de cenizas de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Muestra	Método de secado	Peso Crisol (g)	Peso muestra (g)	Peso total (g)	Peso total ceniza (g)	Peso cenizas (g)	Cenizas (%)
1	Deshidratado por convección	26.9107	1.5022	28.4129	26.9793	0.0686	4.5666
2		18.8941	1.5001	20.3942	18.9643	0.0702	4.6769
3	Blanqueo y deshidratado por convección	31.4354	1.5005	32.9359	31.4807	0.0453	3.0190
4		17.5187	1.5017	19.0204	17.5720	0.0533	3.5493
5	Secado por espuma	28.6174	1.5006	30.1180	28.6815	0.0641	4.2716
6		23.8225	1.5017	25.3242	23.8875	0.0650	4.3284

Muestra	Método de secado	Peso Crisol (g)	Peso muestra (g)	Peso total (g)	Peso total ceniza (g)	Peso cenizas (g)	Cenizas (%)
7	Secado por tambor	28.6155	1.5013	30.1168	28.6829	0.0674	4.4894
8		20.1260	1.5015	21.6275	20.1934	0.0674	4.4888

Fuente: elaboración propia

Cuadro 44. Datos utilizados para la determinación de grasa de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Muestra	Método de secado	Peso vaso (g)	Peso muestra (g)	Peso vaso + grasa (g)	Peso grasa (g)	Grasa (%)
1	Deshidratado por convección	74.8463	10.0009	74.9659	0.1196	1.1959
2		76.3923	10.0005	76.5270	0.1347	1.3469
3	Blanqueo y deshidratado por convección	75.3017	10.0003	75.4043	0.1026	1.0260
4		75.6365	10.0006	75.7422	0.1057	1.0569
5	Secado por espuma	74.9804	10.0007	75.1433	0.1629	1.6289
6		76.3788	10.0006	76.4882	0.1094	1.0939
7	Secado por tambor	76.3784	10.0003	76.4211	0.0427	0.4270
8		75.1349	10.0007	75.1745	0.0396	0.3960

Fuente: elaboración propia

Cuadro 45. Datos utilizados para la determinación de proteína de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Muestra	Método de secado	Peso muestra (g)	Vol. titulación (mL)	% Nitrógeno	Proteína (%)
1	Deshidratado por convección	0.2504	1.4000	0.7831	4.8946
2		0.2502	1.4000	0.7838	4.8985
3	Blanqueo y deshidratado por convección	0.2508	1.4000	0.7819	4.8868
4		0.2509	1.4000	0.7816	4.8849
5	Secado por espuma	0.2505	3.5000	1.9571	12.2317
6		0.2505	4.0000	2.2366	13.9790
7	Secado por tambor	0.2505	3.6000	2.0130	12.5811
8		0.2504	3.6000	2.0138	12.5862

Fuente: elaboración propia

Cuadro 46. Datos utilizados para la determinación de fibra cruda de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Muestra	Método de secado	Peso crisol (g)	Peso muestra (g)	Peso total pre-mufla (g)	Peso total post-mufla (g)	Peso fibra (g)	Fibra cruda (%)
1	Deshidratado por convección	30.1587	1.0021	30.1665	30.1600	0.0013	0.1297
2		29.7300	1.0036	29.7330	29.7311	0.0011	0.1096
3	Blanqueo y deshidratado por convección	29.2911	1.0058	29.2978	29.2914	0.0003	0.0298
4		29.5014	1.0025	29.5063	29.5016	0.0002	0.200
5	Secado por espuma	29.7018	1.0035	29.7092	29.7022	0.0004	0.0399
6		30.0225	1.0043	30.0331	30.0230	0.0005	0.0498
7	Secado por tambor	30.1590	1.0006	30.1874	30.1596	0.0006	0.0600
8		29.7011	1.0030	29.7093	29.7016	0.0005	0.0499

Fuente: elaboración propia

Cuadro 47. Datos utilizados para la determinación de fibra dietética de la harina de banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Método de secado	Peso residuos secos (g)	Media de residuos	Proteína de residuos	Ceniza de residuo	Blanco	Peso muestra (g)	Media de pesos	%TDF
Deshidratado por convección	0.1788	0.1766	0.0153	0.0635	0.0085	1.0002	1.0029	8.9070
	0.1744					1.0055		
	0.1852	0.1831	0.0159	0.0658	0.0085	1.0065	1.0040	9.2555
	0.1810					1.0015		
Blanqueo y deshidratado por convección	0.1712	0.1690	0.0174	0.0429	0.0085	1.0040	1.0024	9.9935
	0.1667					1.0007		
	0.1617	0.1618	0.0167	0.0410	0.0085	1.0063	1.0064	9.4930
0.1618	1.0065							
Secado por espuma	0.2503	0.2528	0.0646	0.0855	0.0085	1.0180	1.0111	9.0113
	0.2553					1.0041		
	0.2300	0.2732	0.0699	0.0956	0.0085	1.0105	1.0091	9.8241
	0.3163					1.0076		
Secado por tambor	0.1862	0.1956	0.0487	0.0440	0.0085	1.0037	1.0030	9.4162
	0.2050					1.0023		
	0.1989	0.1968	0.0489	0.0442	0.0085	1.0045	1.0075	9.4342
	0.1946					1.0105		

Fuente: elaboración propia

Cuadro 48. Determinación de polifenoles en banano verde de rechazo evaluando cuatro métodos de secado

Muestra	Método de secado	Peso muestra (g)	Absorbancia a 765 nm
1	Deshidratado por convección	5.0008	0.430
2			0.435
3	Blanqueo y deshidratado por convección	5.0000	0.425
4			0.422
5	Secado por espuma	5.0005	0.418
6			0.420
7	Secado por tambor	5.0017	0.464
8			0.462

Fuente: elaboración propia

Nota. No se incluyó en la sección de resultados porque no se detectó la presencia de polifenoles en la harina de banano verde

Cuadro 49. Determinación de antioxidantes en banano verde de rechazo evaluando el método de deshidratado por convección

Muestra	Vol. muestra (μL)	Vol. etanol (μL)	Vol. DPPH (μL)	Absorbancia a 520 nm	Duplicado absorbancia a 520 nm
Blanco	0	4000	0	0.043	0.042
Control	0	3000	1000	1.430	1.444
1	100	2900	1000	1.341	1.396
2	200	2800	1000	1.285	1.311
3	300	2700	1000	1.264	1.211
4	400	2600	1000	1.141	1.184
5	500	2500	1000	1.065	1.083
6	600	2400	1000	1.001	1.003
7	700	2300	1000	0.931	0.935

Fuente: elaboración propia

Nota. No se incluyó en la sección de resultados porque no se detectó la presencia de antioxidantes en la harina de banano verde

Cuadro 50. Determinación de antioxidantes en banano verde de rechazo evaluando el método de blanqueo y deshidratado por convección

Muestra	Vol. muestra (μL)	Vol. etanol (μL)	Vol. DPPH (μL)	Absorbancia a 520 nm	Duplicado absorbancia a 520 nm
Blanco	0	4000	0	0.044	0.044
Control	0	3000	1000	1.424	1.424

Muestra	Vol. muestra (μL)	Vol. etanol (μL)	Vol. DPPH (μL)	Absorbancia a 520 nm	Duplicado absorbancia a 520 nm
1	100	2900	1000	1.373	1.398
2	200	2800	1000	1.393	1.406
3	300	2700	1000	1.356	1.326
4	400	2600	1000	2.285	1.295
5	500	2500	1000	1.327	1.245
6	600	2400	1000	1.215	1.247
7	700	2300	1000	1.236	1.240

Fuente: elaboración propia

Nota. No se incluyó en la sección de resultados porque no se detectó la presencia de antioxidantes en la harina de banano verde

Cuadro 51. Datos de secador de tambor utilizados para calcular la capacidad calorífica del equipo

Parámetro	Valor
Volumen de condensado recolectado (L/h)	1.40
Peso de condensado recolectado (kg/h)	1.40
Temperatura de entrada (K)	388.15
Temperatura de salida (K)	323.75
Presión (kPa)	0.80
Capacidad calorífica (W)	377.23

Fuente: elaboración propia

Cuadro 52. Datos de caldera 140 BHP utilizados para calcular el costo de la operación de secado por tambor

Parámetro	Valor
Potencia nominal (kJ/s)	97
Potencia del quemador (kJ/s)	108
Producción de vapor (kg/h)	140

Fuente: elaboración propia

Cuadro 53. Datos de combustible utilizados para calcular el costo de la operación de secado por tambor

Parámetro	Valor
Costo de diésel (Q/gal)	27.47
Capacidad calorífica de diésel (J/g*°C)	2100
Densidad de diésel	840

Fuente: elaboración propia

Cuadro 54. Cálculos del costo de combustible para la producción de harina por secado de tambor

Parámetro	Valor
Flujo másico (kg/h)	0.9257
Entalpía de vapor (kJ/kg)	2258
Entalpía de líquido (kJ/kg)	104.89
b	0.86
Consumo de combustible para ocho horas (gal)	2.0063
Costo de combustible para ocho horas (Q)	55.11
Costo de combustible (Q/h)	6.89
Costo de combustible para la producción de 1kg de harina de banano verde (Q)	20.60

Fuente: elaboración propia