

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN INDUSTRIA DE ALIMENTOS

"ELABORACIÓN DE HARINA A BASE DE BANANO VERDE PARA LA FORMULACIÓN DE PASTAS
DIRIGIDAS A PERSONAS CON INTOLERANCIA AL GLUTEN"

TESIS DE GRADO

LOURDES GABRIELA GONZÁLES TORRES

CARNET 11469-12

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, MAYO DE 2017
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN INDUSTRIA DE ALIMENTOS

"ELABORACIÓN DE HARINA A BASE DE BANANO VERDE PARA LA FORMULACIÓN DE PASTAS
DIRIGIDAS A PERSONAS CON INTOLERANCIA AL GLUTEN"

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA

POR

LOURDES GABRIELA GONZÁLES TORRES

PREVIO A CONFERÍRSELE

EL TÍTULO DE INGENIERA EN INDUSTRIA DE ALIMENTOS EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, MAYO DE 2017
CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO

VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS

SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DECANA: MGTR. KAREN GABRIELA MORALES HERRERA DE ZUNIGA

SECRETARIA: MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN

DIRECTOR DE CARRERA: DR. MARIO RENE SANTIZO CALDERON

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
ING. OVILA ASCENCIÓN PRADO DUQUE

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN
ING. HENRY DANIEL CUKIER ALCAHÉ
ING. ISIS ARACELY LÓPEZ CIFUENTES DE GALVEZ
ING. WILFREDO ANTONIO FERNANDEZ VERA

Carta de aprobación del asesor

Doctor Mario Santizo,
Director Ingeniería Química e
Ingeniería en Industria de Alimentos
Universidad Rafael Landívar

Estimado Doctor Santizo:

El motivo de la presente es para informarle que he revisado el informe final del trabajo de Graduación titulado: **"ELABORACION DE HARINA A BASE DE BANANO VERDE PARA LA FORMULACION DE PASTAS DIRIGIDAS A PERSONAS CON INTOLERANCIA AL GLUTEN"**. De la estudiante de Ingeniería en Industria de Alimentos **Lourdes Gabriela Gonzáles Torres**, quien se identifica con número de carnet **1146912**. Después de haber revisado el informe final y de acuerdo con los requerimientos establecidos por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar doy como aprobado dicho trabajo.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,



Ing. Ovílida Prado, Ovílida
Asesor

Carta de autorización de grabación electrónica del trabajo de graduación



FACULTAD DE INGENIERÍA
No. 0262-2017

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado de la estudiante LOURDES GABRIELA GONZÁLES TORRES, Carnet 11469-12 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN INDUSTRIA DE ALIMENTOS, del Campus Central, que consta en el Acta No. 02379-2017 de fecha 9 de mayo de 2017, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

"ELABORACIÓN DE HARINA A BASE DE BANANO VERDE PARA LA FORMULACIÓN DE PASTAS DIRIGIDAS A PERSONAS CON INTOLERANCIA AL GLUTEN"

Previo a conferírsele el título de INGENIERA EN INDUSTRIA DE ALIMENTOS en el grado académico de LICENCIADA.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 31 días del mes de mayo del año 2017.



MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN, SECRETARIA
INGENIERÍA
Universidad Rafael Landívar

AGRADECIMIENTOS

A mis padres

Por ser mi motor y los pilares más importantes de mi vida. Gracias por todo el amor, paciencia y dedicación durante toda mi vida.

A mis hermanas

Por ser quienes me daban el ánimo y las palabras necesarias para continuar y no rendirme.

A mi novio

Eder, ha sido fundamental en este proceso. Gracias por nunca dejar que me rindiera y por apoyarme en todo momento.

A mis catedráticos

Por ser parte fundamental en mi formación profesional.

A mi asesora

Inga. Ovila gracias por su orientación y apoyo en cada una de las etapas de este trabajo.

A mis amigos

Por sus preocupaciones y palabras de aliento en todo momento.

DEDICATORIA

A mi papá

Papi, sos el mayor y mejor ejemplo de padre, persona y esposo. Porque me enseñaste que cada lucha tiene su recompensa y sin duda alguna, esto no lo hubiese logrado sin ti y tu apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

A mi mamá

Mami, sin tus palabras, sin tu empuje, sin tu amor, sin tu entrega, esto no lo hubiese logrado. Este logro también es tuyo, nuestro. Me demostras día a día que el que persevera alcanza y vaya que es cierto. Sos mi modelo a seguir.

A mi hermana mayor

Silvis, por cada risa compartida y por ser una inspiración en lo profesional. Porque somos cómplices en todo lo que hacemos.

A mi hermana menor

Bebe, no hay nada más emotivo que poder ser un ejemplo para vos y que estés segura que lo que uno se propone se puede lograr. Sos la persona con el corazón más grande que conozco.

A mi novio

Eder, porque a pesar de ser este el último paso usted me acompañó desde el inicio y nunca me dejó sola. Llenó de amor y mucha felicidad todos estos años de estudio.

RESUMEN EJECUTIVO

El estudio tuvo como objetivo elaborar una harina a base de banano verde para la formulación de pastas como una opción de alimento para las personas celiacas intolerantes al gluten. La harina de banano verde obtenida se mezcló con harina de otros productos que por origen no contienen gluten, hasta lograr una porción idónea para la obtención del producto final.

Para este proyecto se desarrollaron 5 pruebas en donde se experimentó con variables a controlar para el proceso de elaboración de harina basándose en la mejora del proceso de producción, así como en las características y propiedades de una harina. Se controlaron variables como: temperatura, tiempo, concentración de ácidos, pH, grados °Brix y grosor de rodaja. El proceso de secado se llevó a cabo a una temperatura de 60 °C por un tiempo de 36 horas.

A partir de la harina de banano verde elaborada, se procedió a la formulación de la pasta tipo espagueti para las cuales se realizaron diferentes porcentajes de harina de banano; 45%, 55%, 60% en donde se utilizaron harinas que por su origen no contienen gluten (maíz, arroz y yuca). Se procedió a realizar la evaluación sensorial en la cual se evaluó la preferencia entre el espagueti elaborado con harina de banano verde y harina de yuca (60:40) y el elaborado con harina comercial sin gluten y harina de yuca.

De la evaluación sensorial, el resultado fue determinado por el consumidor al no haber una preferencia entre la pasta elaborada con harina de banano y la pasta con harina comercial sin gluten. A partir de ello se concluyó que la harina de banano verde puede ser utilizada en la elaboración de pastas ya que no tuvo rechazo del consumidor y no percibió sabores provenientes del banano como materia prima.

Descriptores: harina de banano verde, celiacos, pasta, evaluación sensorial.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	LO ESCRITO SOBRE EL TEMA	3
II.	MARCO TEÓRICO.....	5
1.	GENERALIDADES DEL BANANO.....	5
2.1.1	Situación Actual del Cultivo	5
2.1.2	Situación Actual del Mercado	6
2.1.3	Composición Química.....	7
a.	Valor Nutritivo.	7
2.	MADURACIÓN DEL BANANO	9
2.2.1	Respiración.....	11
2.2.2	Cambios de sabor	13
2.2.3	Cambios en aroma	18
2.2.4	Cambios en color	18
2.2.5	Acidez	21
2.2.6	pH.....	22
2.2.7	Actividad de agua a diferentes estados de madurez	23
4.	SECADO DEL BANANO.....	27
5.	SISTEMAS DE SECADO	30
6.	REDUCCIÓN DE TAMAÑO	32
2.6.1	Molino de discos	32
2.6.2	Molino de Martillos	33
2.6.3	Tamiz para harina	34
7.	PASTA ALIMENTICIA	35
2.7.1	Tipo de pastas alimenticias	35
2.7.1.1	Pastas alimenticias simples:.....	35
2.7.1.2	Pastas alimenticias compuestas:.....	35
2.7.1.3	Pastas alimenticias rellenas:	35
2.7.2	Requisitos generales	36
2.7.3	Proceso de fabricación de pasta a manera industrial	36

2.7.3.1 Prensado o Extrusión:	37
2.7.3.2 Secado:	37
2.7.4 Componentes de la pasta libre de gluten	38
2.7.4.1 Huevo:.....	38
2.7.4.2 Hidrocoloides:	39
8. ADITIVOS ALIMENTARIOS	40
9. ANÁLISIS PROXIMAL	41
10. ANÁLISIS SENSORIAL	42
2.10.1 Prueba de comparación pareada (Prueba afectiva discriminatoria de preferencia).....	43
11. ANÁLISIS DE LABORATORIO	44
2.11.1 Análisis fisicoquímicos	44
12. HARINA DE ARROZ.....	44
13. HARINA DE YUCA	45
14. HARINA DE MAIZ	45
15. GLUTEN.....	45
2.15.1 Alimentos sin Gluten.....	46
16. ENFERMEDAD CELÍACA	47
2.16.1 Frecuencia de enfermedad celiaca	48
2.16.2 Síntomas de la enfermedad celíaca	49
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	51
3.1 OBJETIVOS.....	52
3.1.1 Objetivo General	52
3.1.2 Objetivos Específicos	52
3.2 HIPÓTESIS.....	53
3.2.1 Hipótesis Nula.....	53
3.2.2 Hipótesis Alternativa	53
3.3 VARIABLES	53
3.3.1 Variables Independientes.....	53
3.3.2 Variables Dependientes	53
3.4 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES	54

3.5	ALCANCES Y LÍMITES	57
3.5.1	Alcances.....	57
3.5.2	Límites.....	58
3.6	APORTE.....	59
IV.	METODOLOGÍA.....	60
4.1	SUJETOS Y UNIDADES DE ANÁLISIS	60
4.1.1	Sujetos	60
4.1.2	Unidades de Análisis	60
4.2	INSTRUMENTOS.....	61
4.3	Boleta de Evaluación Sensorial	66
4.4	PROCEDIMIENTO	66
4.4.1	Diagrama del proceso del estudio de investigación.....	67
4.4.2	Diagramas específicos.....	67
4.5	DISEÑO Y METODOLOGÍA ESTADÍSTICA.....	75
4.5.1	Diseño Experimental.....	75
4.5.2	Descripción de unidades experimentales	76
4.5.3	Variable Respuesta	76
4.5.4	Metodología de análisis	76
4.5.4.1	Análisis estadístico de evaluación sensorial	78
V.	RESULTADOS.....	80
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	96
VII.	CONCLUSIONES.....	114
VIII.	RECOMENDACIONES.....	115
IX.	REFERENCIAS.....	117
X.	GLOSARIO Y ABREVIATURAS	125
10.1	GLOSARIO.....	125
10.2	ABREVIATURAS.....	127
XI.	ANEXOS.....	128
11.1	ANEXO A: Costo estimado de producción de Banano.....	128
11.2	ANEXO B: Información de encuesta y encuestados.....	129
11.3	ANEXO C: Informe de análisis realizado en el laboratorio	131

11.3.1	Análisis fisicoquímico de harina de banano	131
11.3.2	Análisis microbiológico de harina de banano	133
11.3.3	Análisis microbiológico de pasta tipo espagueti	134
11.3.4	Análisis de gluten en harina de banano verde	135
11.4	ANEXO D: Normativa de análisis microbiológico, físico y químico	135
11.5	ANEXO E: Muestra de Cálculo	137
11.5.1	Contenido de Humedad en pruebas	137
11.5.2	Rendimiento de proceso	138
11.5.3	Chi-Cuadrado.....	139
11.6	ANEXO F: Recopilación de imágenes	142

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1:	Cambios típicos en los ángulos, forma y tamaño del área transversal durante la maduración del banano.	21
Imagen 2:	Etapas del banano según su estado de madurez.	23
Imagen 3:	Secador tipo bandejas.....	31
Imagen 4:	Molino de discos	33
Imagen 5:	Molino de martillos	34
Imagen 6:	Vellosidad del intestino delgado de una persona sin intolerancia al gluten comparada con una persona con enfermedad celíaca.....	47
Imagen 7:	Tabla de Significación para Test Pareados	140
Imagen 8:	Valores de Chi-Cuadrado para significación a varios niveles	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Reacción de pardeamiento enzimático por fenolasas.	20
Figura 2:	Esquema representativo de la medida de la calidad sensorial	42
Figura 3:	Encuesta a utilizar para elaboración de análisis sensorial.....	66
Figura 4:	Costos de producción de banano en Guatemala.....	128

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Proceso de investigación	67
Diagrama 2. Proceso de elaboración de harina a partir de banano verde	68
Diagrama 3. Proceso de elaboración de pasta tipo espagueti a partir de la harina de banano verde	70
Diagrama 4: Balance de masa para la elaboración de harina de banano	90
Diagrama 5: Balance de masa para la elaboración de pasta tipo espagueti	94

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Pautas de crecimiento, respiración y producción de etileno de órganos vegetales climatéricos y no climatéricos.	10
Gráfica 2: Patrón de respiración de algunas frutas climatéricas cosechadas.	12
Gráfica 3: Gráfica de respiración en banano.	12
Gráfica 4: Cambios fisicoquímicos durante la maduración del banano.	14
Gráfica 5: Comportamiento de la acidez durante la maduración del banano.	21
Gráfica 6: Comportamiento del pH durante la maduración del banano.	22
Gráfica 7: Actividades de agua del banano a diferentes estados de maduración	24
Gráfica 8: Curvas de secado	29
Gráfica 9: Muestra de resultados de preferencia	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comercio exterior, período 2006/2014 del producto banano	6
Tabla 2: Producción, área y rendimiento en cultivo de banano en Guatemala	7
Tabla 3: Composición Proximal del Banano Entero	8
Tabla 4: Valor Nutritivo de la Harina de Banano (100g de alimento)	9
Tabla 5: Contenido de carbohidratos en bananos verdes y maduros	10
Tabla 6: Tasa de respiración del banano	13
Tabla 7: Características de los carbohidratos solubles durante la maduración del banano	15

Tabla 8: Cambios de Carbohidratos durante la maduración	16
Tabla 9: Variación en el contenido de taninos libres por efecto de la maduración del banano	16
Tabla 10: Cambios en la cantidad de taninos “activos” en el transcurso de la maduración del banano.....	17
Tabla 11: Tabla de colores de maduración del banano propuesta por Dominico Hartón.	20
Tabla 12: índices de madurez del banano	22
Tabla 13: Tipos de secadores según la materia a deshidratar	30
Tabla 14: Tabla de conversión de Mesh hasta micrones en tamices	35
Tabla 15: Aditivos alimentarios de interés.....	40
Tabla 16: Señales y síntomas comunes en la enfermedad celíaca	50
Tabla 17: Síntomas adiciones comunes en niños	50
Tabla 18: Equipos a utilizar	61
Tabla 19: Utensilios y cristalería a utilizar	64
Tabla 20: Experimentos, diseño experimental.....	75
Tabla 21 Experimentos, variables de respuesta	76
Tabla 22: Primera elaboración de proceso de deshidratación para obtención de harina a base de banano verde	80
Tabla 23: Proceso de deshidratación para obtención de harina a partir de banano verde en primera prueba	80
Tabla 24: Segunda elaboración de proceso de deshidratación para obtención de harina a base de banano verde.....	81
Tabla 25: Proceso de deshidratación para obtención de harina a partir de banano verde en Segunda prueba	81
Tabla 26: Tercera elaboración de proceso de deshidratación para obtención de harina a base de banano verde	82
Tabla 27: Proceso de deshidratación para obtención de harina a partir de banano verde	82
Tabla 28: Cuarta elaboración de proceso de deshidratación para obtención de harina a base de banano verde	82

Tabla 29: Proceso de deshidratación para obtención de harina a partir de banano verde	83
Tabla 30: Quinta elaboración de proceso de deshidratación para obtención de harina a base de banano verde	83
Tabla 31: Proceso de deshidratación para obtención de harina a partir de banano verde	83
Tabla 32: Sexta elaboración de proceso de deshidratación para obtención de harina a base de banano verde	83
Tabla 33: Proceso de deshidratación para obtención de harina a partir de banano verde	84
Tabla 34: Determinación de madurez del banano por medición de grados brix en la Tercer Prueba realizada	85
Tabla 35: Determinación de madurez del banano por medición de grados brix en la Cuarta Prueba realizada	85
Tabla 36: Determinación de madurez del banano por medición de grados brix en la Quinta Prueba realizada.....	86
Tabla 37: Determinación de madurez del banano por medición de grados brix en la Sexta Prueba realizada	87
Tabla 38: pH de solución ácida para la inmersión de las rodajas de banano verde.....	87
Tabla 39: Resultado de humedad en la harina de banano	88
Tabla 40: Resultado de cenizas en la harina de banano	88
Tabla 41: Resultado de proteínas en la harina de banano	88
Tabla 42: Granulometría de harina de banano verde en Quinta Prueba realizada.	88
Tabla 43: Granulometría de harina de banano verde en Sexta Prueba realizada.	88
Tabla 44: Resultados de criterios microbiológicos en harina de banano verde.	89
Tabla 45: Rendimiento porcentual de obtención de harina a base de banano verde. ...	89
Tabla 46: Formulación de pasta tipo espagueti en proporción 50:50 (base seca) con harina de maíz nixtamalizada.	91
Tabla 47: Formulación de pasta tipo espagueti en proporción 60:40 (base seca) con harina de arroz.	91

Tabla 48: Formulación de pasta tipo espagueti en proporción 55:45 (base seca) con harina de arroz.	92
Tabla 49: Formulación de pasta tipo espagueti en proporción 60:40 (base seca) con harina de yuca.	92
Tabla 50: Rendimiento de pasta según proceso de elaboración de espagueti en proporción 60:40 (base seca) con harina de yuca.	93
Tabla 51: Merma en proceso de elaboración de espagueti en proporción 60:40 (base seca) con harina de yuca.	93
Tabla 52: Proceso de secado en la elaboración de espagueti en proporción 60:40 (base seca) con harina de yuca.	93
Tabla 53: Resultados de criterios microbiológicos en pasta tipo espagueti a partir de harina de banano verde y harina de yuca.	94
Tabla 54: Resultados análisis sensorial	95
Tabla 55: Datos de Chi-Cuadrada para comparación de valores.	95
Tabla 56: Tabulaciones de resultados prueba pareada de espagueti.	129
Tabla 57: Resultados del análisis sensorial	130
Tabla 58: Resultados análisis sensorial	130
Tabla 59: Criterios microbiológicos en harina de trigo.....	135
Tabla 60: Requisitos fisicoquímicos de conformidad a la variedad de trigo	136
Tabla 61: Requisitos microbiológicos para Pastas (rellenas).	136
Tabla 62: Humedad en las pruebas.....	137
Tabla 63: Rendimiento en las pruebas	138
Tabla 64: Datos de Chi-Cuadrada para comparación de valores.	139
Tabla 65: Elaboración de harina de banano verde	142
Tabla 66: Elaboración de pasta tipo espagueti	144
Tabla 67: Cocción de espagueti.....	145
Tabla 68: Evidencia de evaluación sensorial.....	145

I. INTRODUCCIÓN

La intolerancia al gluten y enfermedad celiaca es un trastorno causado por la ingesta de gluten afectando y causando daños en el intestino delgado. Como parte del tratamiento de esta enfermedad se aplica una dieta la cual consta en evitar el consumo de productos que contengan gluten por naturaleza o por procedimientos de fabricación.

Se estima que 1 de cada 100 personas sufren de esta enfermedad y es por eso que los alimentos libres de gluten son un tema de interés social. (Health Canada, 2009)

El gluten es la proteína que se encuentra en el trigo, centeno y cebada. El gluten ayuda a los alimentos a mantener su forma, actuando como pegamento que mantiene los alimentos juntos. El gluten se puede encontrar en muchos tipos de alimentos, incluso en los que no se espera debido a contaminación cruzada. (Canadian Celiac Association, 2005)

Por naturaleza, el banano no contiene gluten y por sus características de maduración, puede ser seleccionado en su etapa 2 de maduración en la cual aún no ha transformado su almidón en azúcares por lo que su sabor es neutro.

Para el estudio se basó en el proceso de la elaboración de harina por medio del proceso de selección, pelado, cortado, secado, molienda y posterior evaluación del uso de la harina obtenida en un producto final, en este caso una pasta tipo espagueti. Para cumplir con el objetivo se realizaron pruebas utilizando en distintas proporciones la harina de banano y harinas sin gluten. La formulación se mantuvo en cada una de las experimentaciones realizadas.

Se plantearon 3 formulaciones para la elaboración de espagueti, pero en las pruebas preliminares se determinó que la muestra con un 60% de harina de banano, presentaba mejores características organolépticas para el producto terminado por lo que se descartó el uso de las proporciones de 45 y 55%.

Para analizar la aceptación de los consumidores se realizó una evaluación sensorial de preferencia tomando a 100 personas al azar para determinar si el producto era aceptado por el cliente. Se realizó una prueba pareada teniendo dos muestras siendo A: espagueti elaborado en proporción 60:40 con harina de banano y harina de yuca respectivamente y B: espagueti elaborado con harina comercial sin gluten y harina de yuca en la misma proporción. Luego, los análisis obtenidos se sometieron a la prueba Chi-Cuadrado la cual determinó que la preferencia entre las muestras no es significativa para determinar cuál ha sido el mejor producto.

1.1 LO ESCRITO SOBRE EL TEMA

El banano es un fruto de alta producción y consumo a nivel mundial, es reconocido por su disponibilidad de nutrientes, vitaminas y fibra, esto ha promovido diversos aspectos de estudio relacionados, en el proceso de recopilación de antecedentes se usaron algunos de estos estudios como referencia o apoyo.

(Roldán, 2005), en virtud de buscar un alimento el cual brinde un valor nutritivo realizó su tesis, la cual tuvo como objetivo determinar el valor nutritivo de la harina de banano verde cosechado en época seca y lluviosa. En el trabajo se comparó el valor nutricional de esta con el valor nutricional de la harina de plátano. En la investigación se concluyó que la harina de banano verde es rica en grasa, fibra cruda y ceniza siendo lo contrario en los valores de energía, carbohidrato y potasio por ser más bajos que la harina de plátano. No se encontró diferencia significativa en el contenido de humedad y proteína en ambos tipos de harina.

La aplicación de la harina de banano ha sido utilizada en formulación de un atol como producto final el cual reporta poseer un color gris-pardo, con apariencia granulosa, olor y sabor leve a banano y textura bucal granulosa. El atol contiene 206 mcg ER de Vitamina A y aporta 86 kcal.

(Cruz, 2016), en su trabajo de investigación tuvo como objetivo elaborar un estudio a nivel laboratorio sobre la variación del tiempo de secado de banano verde (variedad Cavendish) con 3 diferentes tamaños de partícula (rodajas de 3 mm, 5 mm y 7mm de grosor), para utilizar en la elaboración de harina de banano. La harina obtenida se debe mezclar con harina de maíz en distintas proporciones (30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30) para determinar cuál puede proveer una mejor mezcla para utilizar en una galleta libre de gluten. Se concluyó que el tamaño de partícula (rodajas de 3 mm de grosor) presentó un menor tiempo de secado. En la formulación del producto, el de mayor aceptación según la escala hedónica de 5 puntos fue la muestra formulada con

un 60% de harina de banano verde obteniendo 4,50 puntos, lo que equivale a la categoría me gusta.

Los estudios realizados a nivel internacional hablan sobre el aprovechamiento de la materia prima y en su mayoría, la producción de banano en los países latinoamericanos y es a partir de esta razón que surge la necesidad de buscar, crear o implementar un proceso alternativo para el aprovechamiento del banano en su totalidad.

II. MARCO TEÓRICO

1. GENERALIDADES DEL BANANO

El banano es una planta herbácea del género Musa, tarda entre 80 y 180 días en desarrollarse en su totalidad. El banano no es un árbol sino una hierba alta que llega a tener una altura de hasta 15 metros. Existen alrededor de 1000 variedades en todo el mundo las cuales se subdividen en 50 grupos.

El banano se cultiva en más de 140 países siendo ésta una fruta que ocupa el 12% de la producción a nivel mundial en la agricultura. Siendo el banano parte de los alimentos de consumo básico para muchos países tropicales.

En 1880, en Guatemala, el entonces presidente del país, Justo Rufino Barrios, decretó poner en venta tierras para cultivar banano, de esa forma en Guatemala se inició el cultivo de banano como una de las principales prácticas de cultivo para la exportación. (Roldán, 2005)

2.1.1 Situación actual del cultivo

La producción nacional se encuentra distribuida en 6 departamentos siendo Izabal en donde existe un 34.3% de la producción nacional, seguido por Escuintla con el 27.6%, San Marcos con 8.1%, Suchitepéquez un 6.5%, Sololá 5.5% y Quetzaltenango con 2.5%. (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2015)

El cultivo del banano ha constituido el tercer producto en las exportaciones de Guatemala, representando \$381, 370, 090.00 en comercio exterior en el período 2014.

Tabla 1: Comercio exterior, período 2006/2014 del producto banano

Año	Importación		Exportación	
	TM	US\$	TM	US\$
2006	4, 558.40	499,963.00	1,044,474.63	216,807,615.00
2007	12, 251.92	4,281,000.00	1,408,153.06	300,309,387.00
2008	6,355.45	1,199,160.00	1,452,462.66	337,057,038.00
2009	4,994.98	875,865.00	1,901,936.00	569,806,342.00
2010	2,136.8	318,872.00	1,370,515.83	353,175,513.00
2011	5,226.75	483,116.00	1,658,851.77	504,678,352.00
2012	6,821.50	667,258.00	1,920,783.66	583,895,288.00
2013	11,368.53	1,268,694.00	1,988,377.68	623,435,248.00
2014*	7,104.89	627,805.00	1,182,191.89	381,370,090.00

Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2015)

*Cifras al mes de agosto.

Según (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2015), el promedio porcentual 2009-2013 de las exportaciones se encuentra en un 90% hacia Estados Unidos, seguido por un 3% a Honduras, un 2% a El Salvador y quedando un 5% de la producción nacional como un rechazo para exportación por lo que es producto que permanece dentro del país.

2.1.2 Situación actual del mercado

- a) Mercado interno. En Guatemala, el banano es uno de los productos que genera mayor cantidad de producción para exportación versus el consumo interno. Aun así, el consumo de bananos y plátanos son de las frutas más importantes en cuanto al consumo de la población guatemalteca. El consumo de banano es alrededor de 21 gramos en promedio, 27 en el área urbana y 23 en el área rural, según el Análisis de la Situación Alimentaria en Guatemala realizado en junio del 2011. (Menchú & Méndez, 2011)

b) Mercado externo. Al tener una cifra estimada del año 2014, se puede esperar que conforme los años, se estará teniendo un alza en la producción del banano por lo que la demanda internacional ha ido evolucionando y cada vez, el mercado guatemalteco tiene más capacidades para satisfacer y ser parte del mercado internacional de esta fruta. (Roldán, 2005)

Tabla 2: Producción, área y rendimiento en cultivo de banano en Guatemala

Año Calendario	Área cosechada (manzanas)	Producción (quintales)	Rendimiento (qq/mz)
2008	68,660	50,655,690	570.06
2009	90,510	59,043,274	652.34
2010	90,696	56,450,954	621.05
2011	94,300	63,503,400	673.40
2012	97,700	65,660,800	672.10
2013 ^{p/}	100,600	2,907,700	724.60
2014 ^{e/}	101,900	76,329,100	768.60

Fuente: (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2015)

p/ cifras preliminares, e/ cifras estimadas

2.1.3 Composición química

a. *Valor Nutritivo.* El banano se clasifica como un alimento energético alto en humedad compuesto principalmente por agua, carbohidratos y una poca cantidad de proteínas, minerales y grasas. (Pérez, 2001)

Tabla 3: Composición Proximal del Banano Entero

Nutrientes	Banano Entero		Harina de Banano
	Verde (%)	Maduro (%)	Verde (%)
Humedad	79.1	80.38	12.0
Proteína Cruda	1.17	1.09	4.0
Extracto Etéreo	0.43	0.17	3.0
Fibra Cruda	0.29	1.02	3.0
Extracto Libre de Nitrógeno	17.91	16.26	74.0
Cenizas	1.06	1.08	4.0
E.D. Kcal/Kg	667*	636*	2,500

Fuente: J.H Maner (1974)

*Valor Estimado

Desde el punto de vista nutricional, el banano deshidratado ofrece buena perspectiva para su uso. Su aporte calorífico es similar al maíz, (300 kcal/100 gramos), y su bajo contenido de fibra cruda lo hace apto para la alimentación humana. La baja cantidad de proteína puede ser aumentada mediante suplementación con leguminosas u oleaginosas. (Roldán, 2005)

La harina de banano se ha probado a nivel experimental como una alternativa para su uso en alimentación humana como se muestra en la Tabla 4:

Tabla 4: Valor Nutritivo de la Harina de Banano (100g de alimento)

	Harinas de Banano		
	Sin Cáscara	Verde con Cáscara	Verde sin Cáscara
Humedad (%)	9.2	15.2	11.4
Valor Energético (Kcal)	337	310	329
Proteína (g)	4.39	3.98	4.88
Grasa (g)	0.2	1.6	0.2
Fibra Cruda (g)	3.0	3.9	2.9
Ceniza (g)	3.9	5.4	3.7
Carbohidratos (g)	79.31	69.92	76.92

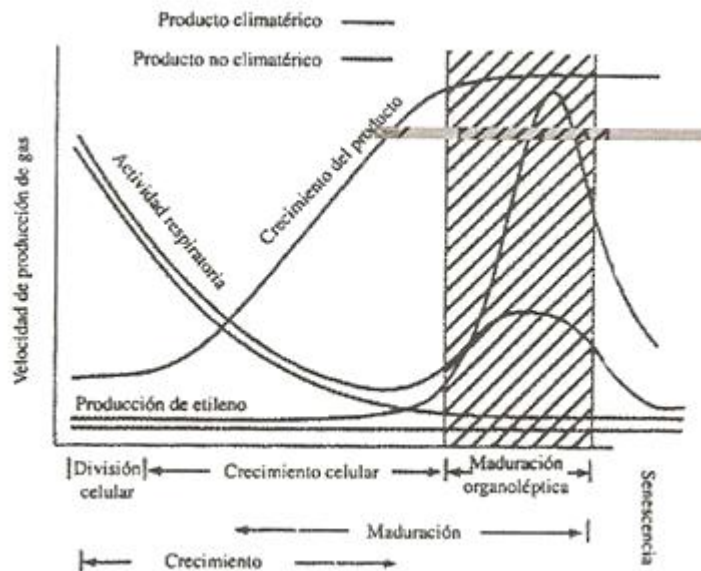
Fuente original: Bressani (1961)

Citado por: Roldán(2005)

2. MADURACIÓN DEL BANANO

La maduración del banano es característica por ser una secuencia de cambios físicos, químicos, bioquímicos y metabólicos que permiten al alimento alcanzar sus propiedades sensoriales características como lo son el color, sabor, aroma, textura. (Ordoñez, 2005)

La maduración en el banano está marcada por el aumento de las tasas de producción de etileno, CO₂ y por la conversión de cantidades relativamente grandes de carbono en forma de almidón en sustancias que alteran la percepción del sabor de la fruta, como se puede observar en la Gráfica 1. (Ordoñez, 2005)



Gráfica 1: Pautas de crecimiento, respiración y producción de etileno de órganos vegetales climatéricos y no climatéricos.

Fuente: Ron, McGlasson, Graham, & Joyce (1981)

El proceso de maduración implica un cambio esencial en la composición de los carbohidratos de la fruta, puesto que el almidón desaparece dando lugar a la aparición de carbohidratos solubles (Desai, 1975) lo que hace que el alimento sufra cambios en su consistencia y sabor para convertirse en un alimento altamente palatable. Este proceso es directamente proporcional al cambio que se genera en los taninos, en donde se inactiva una cantidad representativa de taninos haciendo desaparecer el sabor amargo y astringente característico del banano verde. (F. C. Stratton, 1930)

Tabla 5: Contenido de carbohidratos en bananos verdes y maduros

Contenido, %MS	Bananos	
	Verdes	Maduros
Almidón	65.8	4.5
Azúcares solubles	10.1	71.6
Fibra cruda	3.9	3.6
Fibra detergente ácido	7.2	8.0

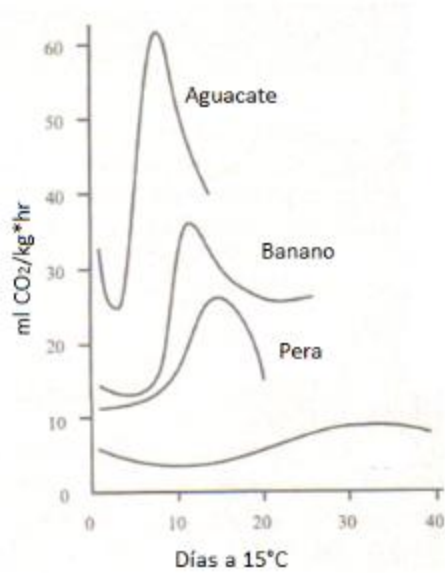
Fuente: J. Le Dividich (1976)

En las etapas iniciales del desarrollo del fruto, el peso de la pulpa es muy bajo, mientras que el de la corteza es muy alto. Con el avance del proceso de maduración, el peso de la pulpa aumenta con una disminución gradual del peso de la corteza. La disminución puede ser debida a la presencia en la corteza de celulosa y hemicelulosa, que en la maduración se convierten en almidón. El azúcar aumenta con mayor rapidez en la pulpa, se desarrolla una presión osmótica, extrayendo el agua de la corteza y dando lugar a un cambio en la proporción de pulpa corteza. (Roldán, 2005)

2.2.1 Respiración

Es un proceso metabólico fundamental tanto en el banano recolectado como en el vegetal vivo. Puede describirse como la degradación oxidativa de los productos más complejos normalmente presentes en las células, como el almidón, los azúcares y los ácidos orgánicos a moléculas más simples, como el dióxido de carbono y el agua con la consiguiente liberación de energía y otras moléculas que pueden ser utilizadas para las reacciones sintéticas celulares. (Ordoñez, 2005)

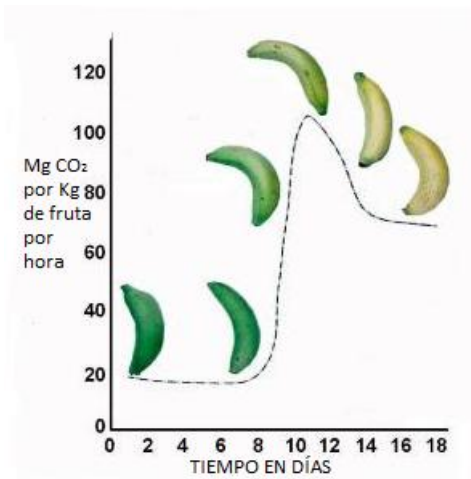
La velocidad en que transcurre la respiración de un producto constituye un índice de la actividad metabólica de sus tejidos y una guía útil de su vida comercial. La actividad respiratoria es más alta en las fases previas de la maduración y declina luego con la edad. Un grupo significativo de frutas entre los que se incluye el banano, muestra una variante del esquema descrito, en cuanto que la actividad respiratoria aumenta de un modo muy acusado durante la maduración organoléptica. Al aumento de la actividad respiratoria se le adjetiva como climatérico y al grupo de frutos que lo ofrecen se los clasifica como frutos climatéricos. Así mismo en la Gráfica 2, se puede observar que la respiración en el banano es más acentuada que en otras frutas climatéricas como el aguacate o la pera. (Ordoñez, 2005)



Gráfica 2: Patrón de respiración de algunas frutas climatéricas cosechadas.

Fuente: Ron, McGlasson, Graham, & Joyce (1981)

La intensidad respiratoria del banano depende de su grado de desarrollo y se mide como la cantidad en miligramos de CO₂ que depende un kilogramo de fruta en una hora o la cantidad de O₂ consumido.



Gráfica 3: Gráfica de respiración en banano.

Fuente: Kader, (1996)

Tabla 6: Tasa de respiración del banano

<i>Respiración del Banano a distintas temperaturas</i>								
<i>Temperatura</i>	<i>13°C (56°F)</i>		<i>15°C (59°F)</i>		<i>18°C (65°F)</i>		<i>20°C (66°F)</i>	
Estado del banano	Verde	Maduro	Verde	Maduro	Verde	Maduro	Verde	Maduro
mL CO ₂ /kg	10	30	12	40	15	60	20	70

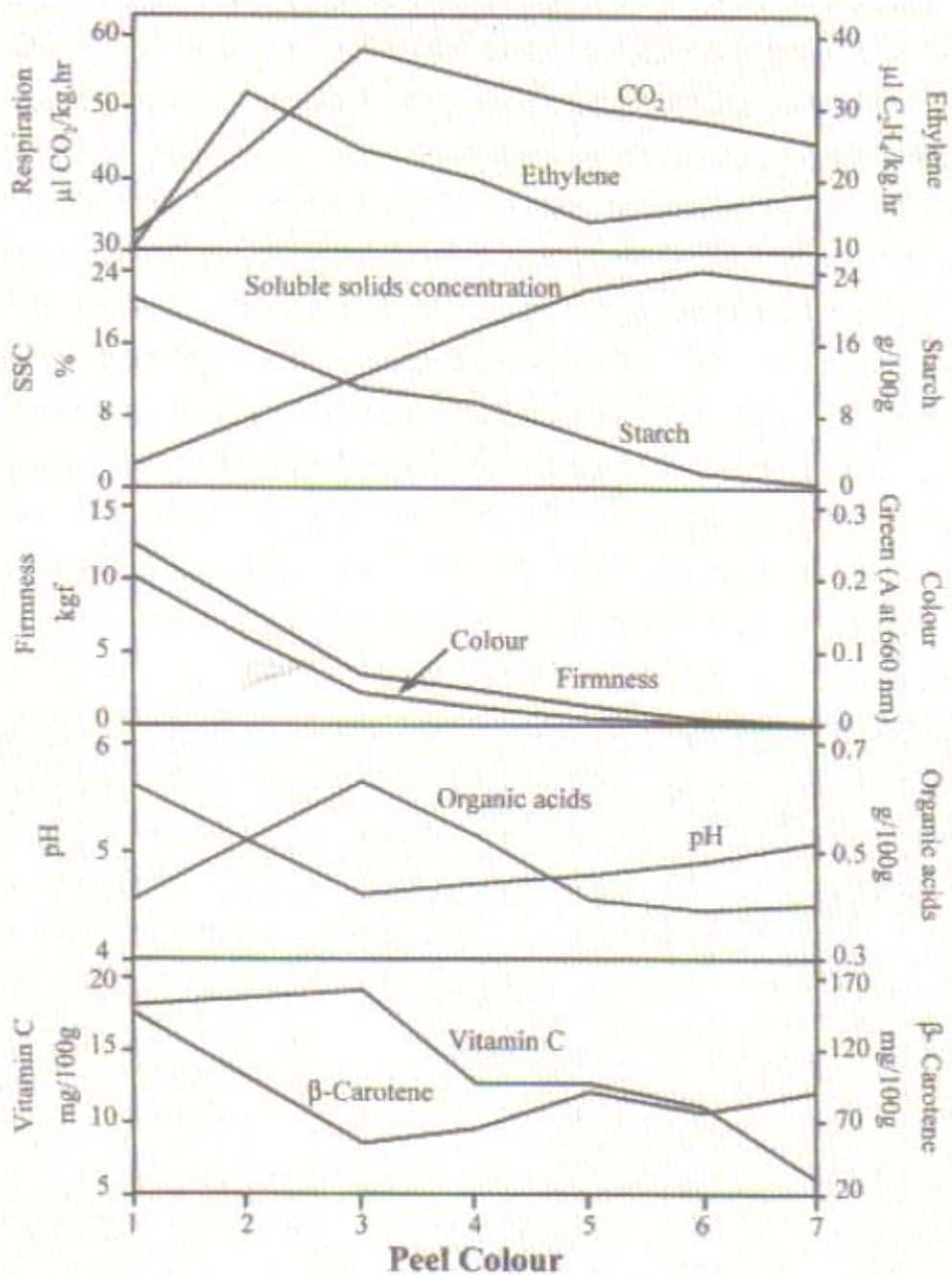
Fuente: Kader, (1996)

2.2.2 Cambios de sabor

En la fruta del banano, el almidón comprende el 80% aproximadamente del peso seco de la fruta. El almidón se transforma durante la maduración en sacarosa, glucosa y fructosa. Una pequeña parte se convierte en compuestos aromáticos iniciando por los esterres que representan una fracción muy pequeña del carbono que se poseía en reserva. (Roldán, 2005)

Posterior a la recolección, se genera el primer paso en el metabolismo de los azúcares en donde la α y el β amilasas, quienes son las enzimas responsables del hidrólisis de almidón, se activan por un efecto de “estrés” que se da en este proceso. Se da un incremento acelerado de sustratos respiratorios (azúcares y ácidos) que son quienes inducen a la crisis climatérica. La hidrólisis de almidón y la síntesis de los azúcares y ácidos orgánicos son los procesos fundamentales con los que se obtienen los sustratos respiratorios necesarios para mantener la integridad celular. (Roldán, 2005)

El contenido del almidón decrece el 20-30% al 1-2% durante la maduración, mientras que los azúcares solubles aumentan del 1% al 20-21%.



Gráfica 4: Cambios fisicoquímicos durante la maduración del banano.

Fuente: Ron, McGlasson, Graham, & Joyce (1981)

En la gráfica 4 se encuentran 7 estados de color de cáscara que indican los cambios de un banano fisiológicamente maduro desde verde (estado 1), hasta totalmente amarillo (estado 6), y finalmente el estado en donde aparecen puntos negros en su superficie (estado 7).

La acumulación o descenso de los azúcares solubles (glucosa, fructosa y sacarosa), en combinación con otros constituyentes, incide directamente sobre la calidad sensorial: sabor (relación azúcares/ácidos) color (derivados antocianinas), y textura (combinación con polisacáridos estructurales de la pared celular).

Sacarosa, fructosa y glucosa son las principales fracciones presentes en los carbohidratos solubles (Tabla 7). Posiblemente la glucosa y fundamentalmente la fructosa se originen por hidrólisis de la sacarosa. Este último disacárido es el principal de los carbohidratos solubles, puesto que constituye más de las tres quintas partes de los mismos.

Tabla 7: Características de los carbohidratos solubles durante la maduración del banano

<i>Componente</i>	<i>Piel (g / 100g peso seco)</i>		<i>Pulpa (g / 100g peso seco)</i>	
	<i>Verde</i>	<i>Madura</i>	<i>Verde</i>	<i>Madura</i>
Glucosa	1.6	9.0	0.4	5.6
Fructosa	0.6	19.0	0.7	9.0
Sacarosa	0.7	2.2	0.7	2.4

Fuente: Hernandez, (1986)

Durante la maduración, el banano aumenta el contenido de hidratos de carbono sencillos por lo que el dulzor típico de las frutas maduras aumenta. A su vez los ácidos van disminuyendo con la maduración desapareciendo el sabor agrio y la astringencia, para dar lugar al sabor suave y al equilibrio dulzor-acidez de los frutos maduros. (Ordoñez, 2005)

Tabla 8: Cambios de Carbohidratos durante la maduración

	<i>Estado de Madurez</i>	
	<i>Verde</i>	<i>Maduro</i>
Carbohidratos totales %	26.56	19.00
Carbohidratos solubles %	1.30	17.02
Carbohidratos insolubles %	25.25	1.98

Fuente: Roldán, (2005)

La reducción de la astringencia se debe a la polimerización de taninos existentes, conformando así largas moléculas insolubles al agua, las cuales no son capaces de reaccionar con los receptores de sabor en la boca. Los bananos no maduros contienen taninos solubles en agua en un 0.6% de su peso fresco. (Demerutis, 1996)

Como se muestra en la Tabla 9, el contenido de taninos libres es un factor importante a considerar para la utilización del banano, debido a que estos producen un sabor astringente que limita el consumo voluntario y la digestibilidad del mismo. (Hervas, 1976) No ocurre con el banano al madurar, debido a que los taninos se ligan desapareciendo el sabor astringente y con ello existe un mayor consumo de banano.

Tabla 9: Variación en el contenido de taninos libres por efecto de la maduración del banano

<i>Clase</i>	<i>Contenido de Taninos (%)</i>
Pulpa de banano verde	7.36
Pulpa de banano maduro	1.99
Cáscara de banano	
Verde	40.5
Maduro	4.7

Fuente: (Pérez, 2001)

Los taninos predominan en la cáscara de plátanos y bananas, y son considerablemente abundantes en las frutas verdes que en las maduras (Tabla 10). (Loesecke, 1950) Ha sugerido que la cantidad total de taninos permanece constante en estas frutas. Sin embargo, la astringencia se pierde durante la maduración porque la forma “activa” de los taninos, que sería la responsable de impartir el sabor fuertemente amargo a la fruta, se transforma en la forma “ligada”, que se supone insoluble e inerte, y que por otra parte tiene poco o ningún efecto en la palatabilidad.

Tabla 10: Cambios en la cantidad de taninos “activos” en el transcurso de la maduración del banano

<i>Días</i>	<i>Actividad</i>		<i>Color de cáscara</i>
	<i>Pulpa</i>	<i>Cáscara</i>	
0	7.36	40.5	
1	8.01	34.0	Verde
2	7.57	28.3	
3	4.30	25.4	
4	5.02	25.9	
5	4.30	16.5	Amarillenta
6	3.87	18.1	
7	1.95	11.2	
8	2.84	4.6	Amarilla
9	1.99	4.7	
10	2.00	4.5	
11	1.32	3.5	Ennegrecida

Expresado en unidades por 100g de muestra

Fuente: (Loesecke, 1950)

2.2.3 Cambios en aroma

Durante la maduración se producen compuestos volátiles que son los que generan el aroma característico a fruta a cada una de ellas. Éstos compuestos volátiles que comúnmente son sintetizados durante la maduración son los ésteres de alcoholes alifáticos y ácidos grasos de cadena corta.

Los ésteres son los responsables del aroma del banano por lo que la producción de estos comienza al momento de alcanzar el pico en la actividad respiratoria y aumenta conforme la demanda de energía requerida para convertir el almidón en azúcares se aproxima a cero. (Ordoñez, 2005)

En lo que respecta al banano, el aroma se debe en su totalidad al acetato de isoamilo, y los terpenoides. Esto coincide con el incremento de compuestos volátiles y su calidad óptima de consumo en cuanto a su sabor y aroma.

La formación de aromas depende de factores externos, tales como la temperatura y sus variaciones entre el día y la noche. Así, por ejemplo, en bananos con un ritmo día/noche de 30/20°C, producen un 60% más de compuestos volátiles responsables de aroma que a temperatura constante de 30°C. (Ordoñez, 2005)

2.2.4 Cambios en color

La maduración del banano tiene una variación de color de verde a amarillo; la primera señal que se ha dado inicio a la maduración es la desaparición del color verde, esto es generado por la degradación de las clorofilas del alimento.

El cambio que se da en el pH es una de las causas principales de la degradación del color lo cual es causado por la fuga de ácidos orgánicos al exterior de la vacuola, el desarrollo de procesos oxidativos y la acción de las clorofilasas.

Debido a la síntesis de pigmentos se da la desaparición de la clorofila, cuyos colores se encuentran entre el amarillo y el rojo. Muchos de estos pigmentos son carotenoides que son compuestos bastante estables y tienen la capacidad de permanecer sin alteraciones en los tejidos y los pigmentos hidrocarburos no saturados también presentes. (Ordoñez, 2005)

El banano sufre cambios de un color blanco cremoso a un color café o gris en cuanto a su interior comestible. Los golpes y daños a los tejidos ocasionan problemas intracelulares, lo cual causa un cambio de color de la fruta.

La reacción de pardeamiento son reacciones de descomposición de los alimentos que se clasifica según las reacciones que ocurren en las fases iniciales. Pueden ser de naturaleza enzimática o no y oxidativa o no. (Fennema, 1976)

Las reacciones de pardeamiento de naturaleza oxidativa enzimática son producto de la oxidación enzimática de los fenoles y su conversión a ortoquinonas, que a su vez se polimerizan para formar pigmentos pardos o melaninas. Esta reacción está catalizada por la enzima fenolasa (o polifenol oxidasa, tirosina o catecolasa), también llamada oxígeno oxidoreductasa. Esta reacción se produce cuando hay suficiente daño vegetal en presencia de O_2 ; como cortar, exprimir o pelar el alimento. Las fenolasas pueden inhibirse irreversiblemente al disminuir el pH a 3, aproximadamente. (Roldán, 2005) y (Fennema, 1976).

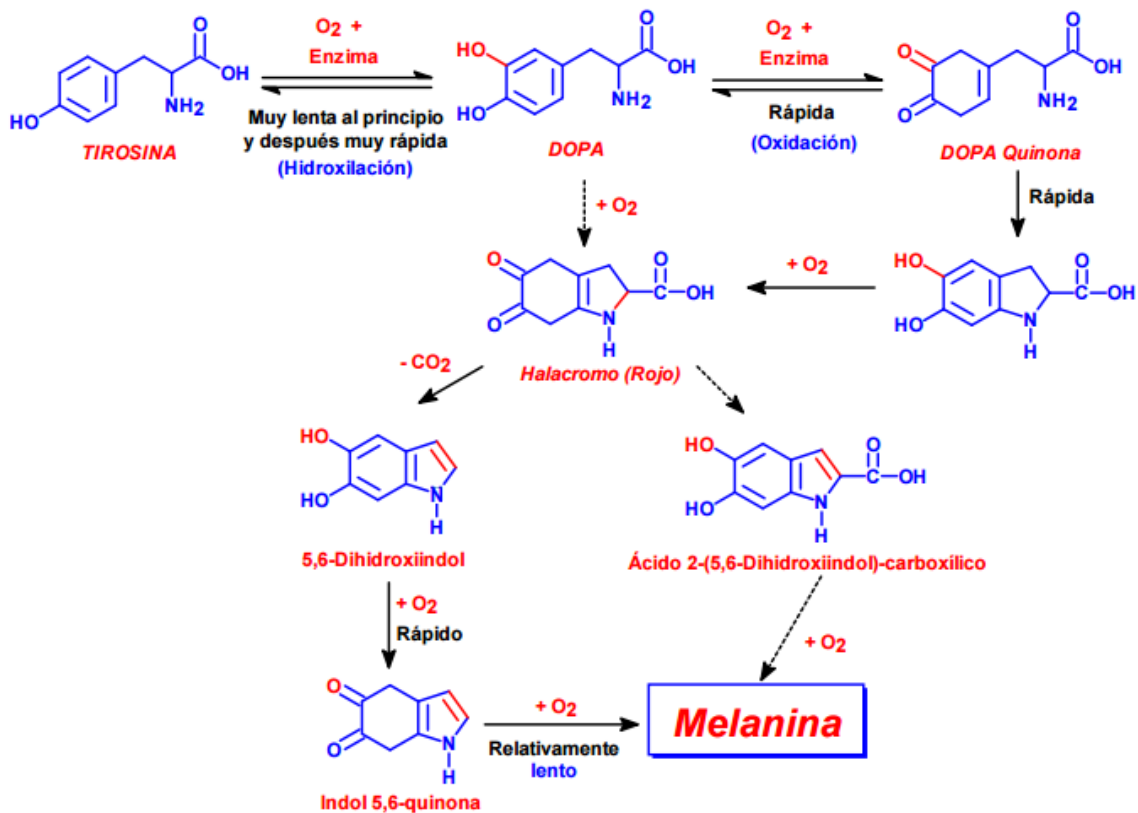


Figura 1: Reacción de pardeamiento enzimático por fenolasas.

Fuente: (Gonzalez, 2003)

Tabla 11: Tabla de colores de maduración del banano propuesta por Dominic Hartón.

DIAS POS COSECHA	0	2	4	6	8	10	12
COLOR							

Fuente: (Gutierrez, 2013)

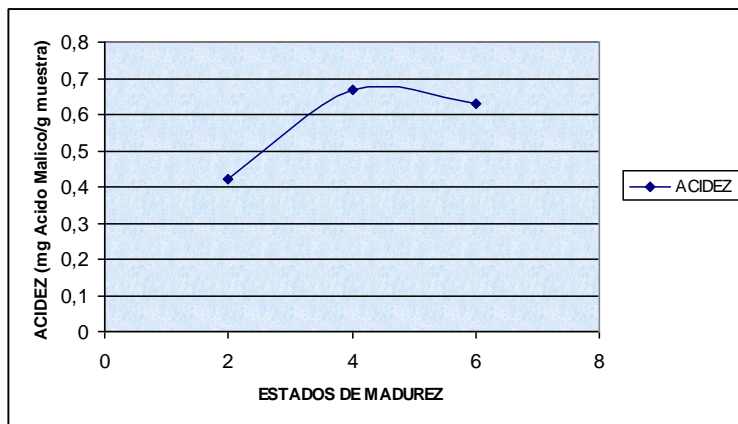


Imagen 1: Cambios típicos en los ángulos, forma y tamaño del área transversal durante la maduración del banano.

Fuente: (Dadzie, 1999)

2.2.5 Acidez

La acidez sufre una variación de manera ascendente en los primeros dos estados de la maduración en donde cambia alrededor del 58% respecto al banano no maduro. El banano, a lo largo de su maduración, sintetiza ácidos como el maléico y el cítrico siendo esto notorio a nivel sensorial. (Aulla, 2008)

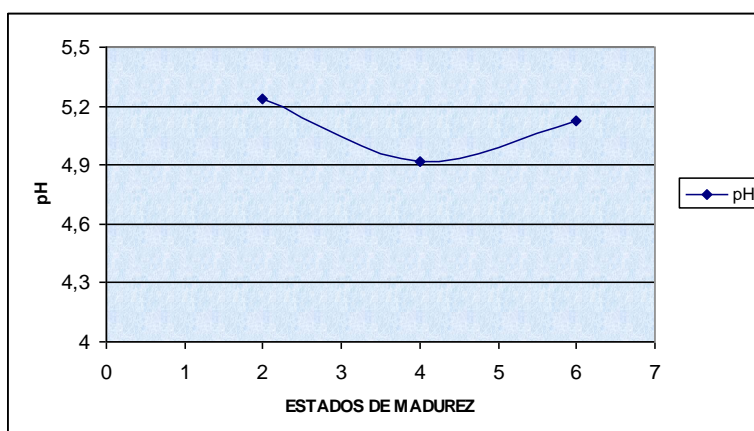


Gráfica 5: Comportamiento de la acidez durante la maduración del banano.

Fuente: (Aulla, 2008)

2.2.6 pH

El banano durante la maduración, tiende al descenso con respecto al estado verde. En el estado 6, como se observa en la gráfica 6, el pH aumenta comparado con el estado 4 pero la disminución es del 2% aun contra el banano verde.



Gráfica 6: Comportamiento del pH durante la maduración del banano.

Fuente: (Aulla, 2008)

Tabla 12: índices de madurez del banano

<i>Estado de Madurez</i>	<i>Color Piel</i>	<i>Color Pulpa</i>	<i>Aroma</i>	<i>Sabor</i>
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

Pudrición

Negrusco

Café
amarillento

A putrefacción

Excesivamente
dulce y amargo

Fuente: (Berger, 2004)

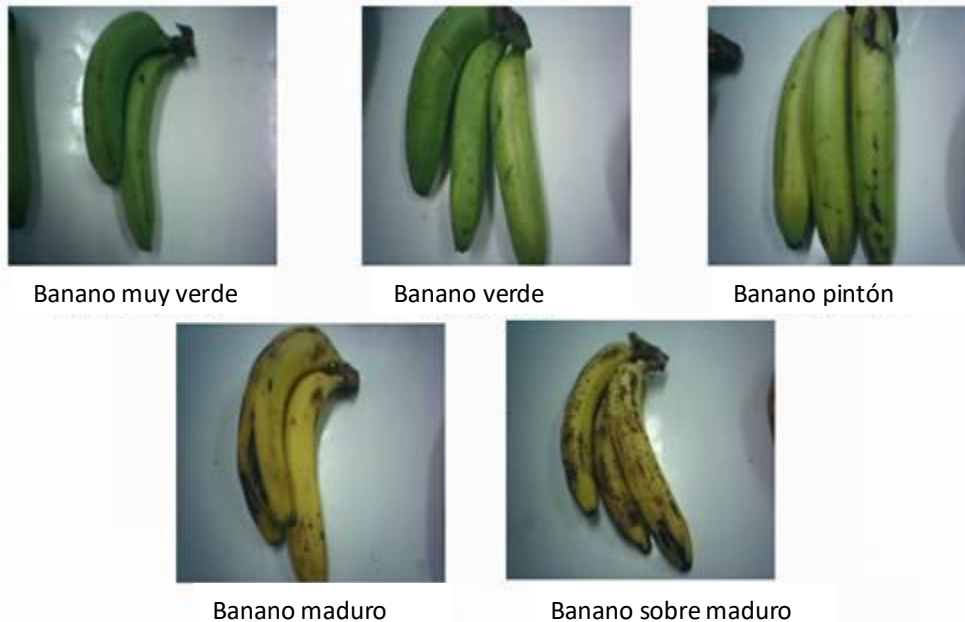


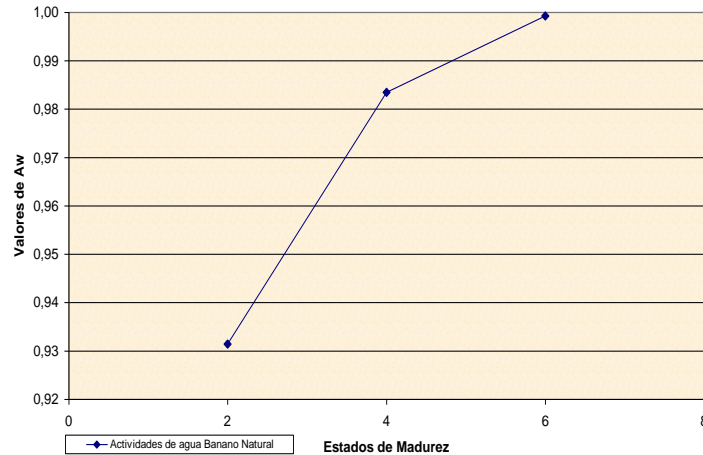
Imagen 2: Etapas del banano según su estado de madurez.

Fuente: (Berger, 2004)

2.2.7 Actividad de agua a diferentes estados de madurez

La Gráfica 7 muestra los valores de actividad de agua obtenidos por cada estado de madurez. Como se puede apreciar la actividad de agua aumenta a medida que avanza su maduración, esto se relaciona directamente con el aumento de la disponibilidad de agua, ya que al parecer el cambio fisiológico que ocurre de almidón a azúcares tiene un efecto sobre la unión de agua, significando que a medida que el banano madura produce una retención más débil sobre las uniones de hidrógeno entre sacarosa y agua. Este proceso involucra la ruptura de uniones de hidrógeno encontradas en el agua líquida y cristales de sacarosa, seguido por la formación de uniones de hidrógeno –sacarosa- agua. Esto da lugar a que haya mayor agua disponible debido a las uniones débiles que encontramos para el estado de maduración

6. Sin embargo, los almidones presentes en el banano grado 2 posee uniones más fuertes que las anteriores debido a la capacidad del almidón de retener fuertemente las moléculas de agua a su estructura cristalina.



Gráfica 7: Actividades de agua del banano a diferentes estados de maduración

Fuente: (Aulla, 2008)

3. PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO

El cambio de color en las frutas y verduras se puede observar al momento en el que el alimento se ve afectado o sufre un cambio mecánico o fisiológico, es decir, cuando el alimento se ve expuesto a un golpe, corte o manipulación. Estos alimentos poseen en sus tejidos vegetales enzimas las cuales son llamadas polifenol oxidasas las cuales tienen la capacidad de catalizar la oxidación de compuestos fenólicos y convertirlos en quinonas. Por la acción de la oxidación debido al O_2 que se tiene en el aire, se forman pigmentos oscuros debido a una polimerización. La tirosinasa, catecolasa, lacasa, ascórbico-oxidada y las polifenol-oxidasas son las enzimas responsables de dicha reacción. Es necesaria la presencia de enzimas, sustratos y oxígeno para lograr la producción de un pardeamiento.

El pardeamiento enzimático es poco común en un tejido intacto, ya que los sustratos fenólicos y las fenolasas se encuentran separados. El pardeamiento enzimático es muy común en cuando se corta la superficie de frutas y vegetales

ligeramente coloridas. La superficie cortada puede cambiar con rapidez a un color café debido a la oxidación de fenoles a orto-quinonas, las cuales a su vez se polimerizan con rapidez para formar pigmentos oscuros o melaninas. (Gonzalez, 2003)

Las enzimas que catalizan la oxidación de los fenoles se pueden clasificar como fenolasas, las cuales son oligómeros en los alimentos y contienen un grupo prostético de cobre por subunidad. Estas enzimas pertenecen a las óxidoreductasas y se conocen con diferentes nombres:

- Fenoloxidasa
- Tirosinasa
- Catecolasa
- Polifenoloxidasas
- Polifenolasa
- Fenolasa

Están involucrados dos tipos de reacción en la reacción catalítica de la fenolasa:

- La hidroxilación
- La oxidación.

La hidroxilación de los monofenoles es lenta y es el paso que determina la rapidez de la reacción. Tanto la tirosina como el ácido clorogénico son dos de los sustratos más frecuentes de la fenolasa debido a su rapidez de reacción relativamente alta. La fenolasa es activa a pH 5 a 7, y puede ser inactivada en forma irreversible a pH menor a 3.(Gonzalez, 2003)

2.3.1 Inactivación de enzimas mediante calor

Este proceso tiene la ventaja de no requerir de la aplicación de un químico/aditivo en el alimento, pero se tiene el inconveniente que genera cambios de textura dando sabor al aplicar calor en una fruta. Para evitar estos inconvenientes se regula el tiempo de calentamiento ajustándolo para alcanzar el mínimo de temperatura necesario para

inactivar la enzima mediante un escaldado. Al realizar una inhibición lenta se realiza a 75°C mientras que al ser rápida se realiza a 85°C. (Aulla, 2008)

2.3.2 Inactivación de enzimas mediante químicos.

- Ácidos. Comúnmente se utilizan ácidos para la inactivación de enzimas debido a que en un pH de 2.5 la actividad enzimática cesa. A este pH la enzima no se recupera lo que inactiva el pardeamiento.
 - Ácido ascórbico. Este ácido es uno de los más recomendados debido a su aplicación para minimizar o evitar el pardeamiento enzimático causado por su carácter vitamínico inofensivo. El ácido ascórbico actúa sobre el sustrato del alimento logrando que su adición pueda darse posterior a la formación de quinonas ya que este reduce las quinonas a fenol.
- Otro inhibidor es el cloruro de calcio ya que impide la actividad de la polifenol-oxidasa. Se debe realizar una inmersión en una solución del 0.3% NaCl en agua. Generalmente se utiliza en frutas ya peladas antes de realizar su proceso ya que inhibe y no inactiva. El pardeamiento puede presentarse en corto tiempo al tener contacto con el oxígeno. (Ordoñez, 2005)

2.3.3 Inactivación por eliminación de oxígeno.

La exclusión o limitación de la influencia del aire al trabajar y envasar rápidamente el material y en caso necesario con ayuda del vacío o en atmósfera inerte representan medidas satisfactorias para mantener ciertas frutas al estado lo más natural posible, especialmente en lo que se refiere a textura y sabor. Para frutas destinadas a la congelación, se usa también azúcar y jarabe para cubrir la superficie, retardando así la entrada del oxígeno atmosférico. (Bajaña, 2014)

4. SECADO DEL BANANO

El secado es uno de los métodos de conservación más antiguo por el hombre para la conservación de los alimentos. Nuestros antecesores observaban que ciertos frutos al momento de alcanzar la madurez llegaban a un estado de conservación natural en donde la pérdida de la humedad era un método de conservación que lograba impedir la acción de los agentes deteriorantes. (Ochoa, 2011)

2.4.1 Eliminación de agua por vía térmica

Se entiende por deshidratación o secado a la eliminación parcial o total del agua de un alimento que se encuentra en un estado sólido debido a las condiciones de energía a las que se somete. Este proceso se lleva a cabo bajo condiciones controlables conducentes a obtener un producto que busca la mejor calidad sensorial y nutricional. (Boucher, 1991)

El contenido de humedad se reduce normalmente hasta el 5-6 por ciento, debido a que algunas reacciones químicas aún pueden ser producidas si se tiene un porcentaje de humedad mayor al establecido como secado. El crecimiento microbiano necesita un 18-20 por ciento de humedad por lo que se reduce este deterioro que puedan causar las bacterias. (Marín, 2008)

2.4.2 Proceso de secado

En este proceso se destruyen enzimas con el tiempo de la aplicación de calor, pero antes de que esto ocurra, las enzimas son más activas debido a la temperatura a la que el alimento se encuentra. Para evitar dicho deterioro, muchas frutas y verduras se blanquean antes de secarlos. (Ochoa, 2011)

Al momento de realizar un proceso de secado, se deben de tomar ciertas consideraciones para obtener una velocidad máxima en el procedimiento:

- Curva de adsorción del producto en la cual se establece una relación entre la actividad de agua y su contenido de agua para así describir un comportamiento higroscópico del mismo.
- Espesor del producto ya que la resistencia de la evaporación del agua se encuentra relacionada con la difusión del agua en el centro del alimento y el tiempo de secado el cual es proporcional al cuadrado del espesor.

(Pérez-Reyes & Sosa-Morales, 2013)

En este proceso se tiene la intervención de dos factores importantes como lo es la transmisión de calor que brinda el calor necesario de evaporación por medio de latencia y el movimiento del agua o vapor de agua.

El calor latente de vaporización es la energía necesaria para evaporar 1kg de agua en estado líquido y el calor latente de sublimación es la energía necesaria para evaporar 1kg de agua en estado sólido.

En el centro del alimento se da lugar a la transmisión de calor, la cual está relacionada con el gradiente de temperatura que se tiene entre el agua que se encuentra en el interior del alimento y su superficie. Este proceso se da por medio de transferencia de calor el cual se basa en la convección, conducción o radiación desde una fuente de calor hasta el alimento. Generalmente se utiliza el método de convección ya que esta transferencia de calor depende de la temperatura del aire, de la humedad, de su caudal, de la superficie del alimento y de la presión. (Pérez-Reyes & Sosa-Morales, 2013)

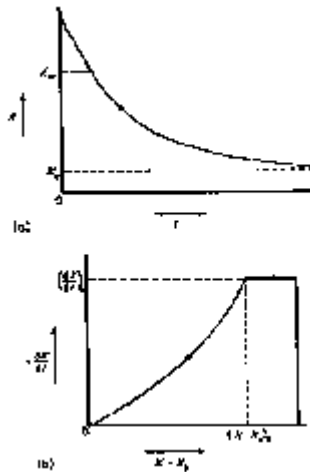
2.4.3 Curvas y períodos de secado

Las curvas de secado se obtienen a partir de muestras del alimento que se van tomando periódicamente y de este modo determinar el contenido de humedad que este tiene conforme el tiempo de secado.

$$X = \frac{\text{peso } H_2O}{\text{Peso del sólido seco}}$$

Ecuación (1.1)

En la gráfica 5 se identifican las dos características que se pueden obtener al momento de graficar las curvas de secado: período de velocidad constante y período de velocidad decreciente.



Gráfica 8: Curvas de secado

Fuente: (Cruz, 2016)

5. SISTEMAS DE SECADO

Los sistemas de secado dependen del tipo de alimento al que se quiera aplicar el proceso, su tolerancia a la temperatura, sus propiedades físicas y los requerimientos según la forma de operación siendo continua o intermitente.

2.5.1 Método no adiabático

Este método consiste en aplicar el calor de forma indirecta por medio de conducción a través de una pared metálica en donde se opera con presión reducida. Los secadores no adiabáticos tienen la particularidad que su velocidad sea dependiente de la velocidad de transferencia de calor de la pared hacia el sólido que se desea secar. La velocidad de secado debe de ser de forma que se evite la acumulación de zonas de sobrecalentamiento para evitar de esta forma que el material se dañe. (Cabrera, 2012)

Los métodos de secado consisten en colocar el alimento en contacto con un medio de calor para eliminar la humedad, dando lugar a la transferencia de materia y de calor por lo que el proceso es eficaz al mantener los valores de presión de vapor y de temperatura en sus máximos gradientes en el interior del alimento a deshidratar. (Cabrera, 2012)

Tabla 13: Tipos de secadores según la materia a deshidratar

<i>Producto</i>	<i>Tipo de Secador</i>
Hortalizas, frutas y confitería.	Bandejas y túnel
Granos, hortalizas. Frutas, nueces, almidón	Cinta y Rotativos
Café, té, puré de frutas	Atomización
Hortalizas	Lecho fluidizado
Zumos	Foam mat

Manzanas y algunas hortalizas

Horno

Café, escencias, extractos de carne, frutas

Congelación y vacío

Fuente: (Cruz, 2016)

2.5.2 Secador de bandejas

Este secador es característico debido a una serie de bandejas en donde se coloca el alimento dentro del secador. El secador posee un ventilador y una o varias resistencias eléctricas las cuales generan calor para que al trabajar junto con el ventilador generen el aire caliente que es llevado a través de las bandejas. (Cruz, 2016)

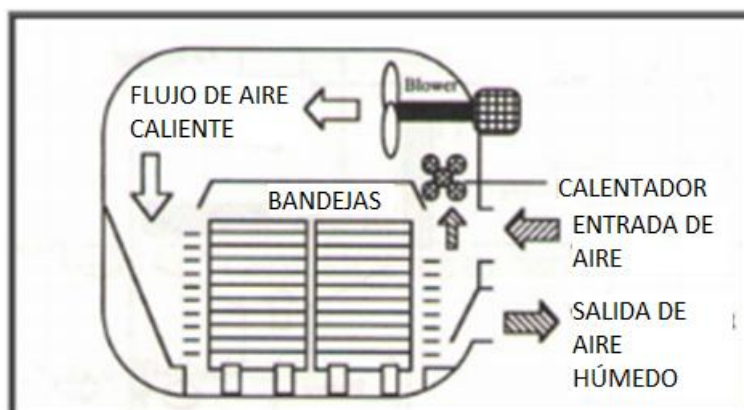


Imagen 3: Secador tipo bandejas

Fuente: (Cánovas, 1996)

Se utilizan bandejas con perforaciones para lograr que la circulación del aire sea a través del alimento de forma que el tiempo de secado disminuye al tener una exposición mayor y directa al sólido.

El secador de bandejas suele tener un rendimiento de secado de entre 20 y 60% por lo que se utiliza comúnmente para pequeñas cantidades de producto ya que no debe de superar los 50kg/h de producto seco. Son de pequeña escala utilizado en laboratorios y plantas pilotos ya que es fácil de ajustar y posee las condiciones óptimas a alcanzar dentro del secador. Tienen la desventaja de no secar el producto de forma

uniforme, dependiendo de su posición en el secador. Por ello, puede ser necesario girar las bandejas durante el proceso para conseguir un secado uniforme. (Cruz, 2016)

6. REDUCCIÓN DE TAMAÑO

En un proceso industrial, la reducción de tamaño en sólidos aplica a todas las formas en las que se puede cortar o romper en piezas más pequeñas los sólidos. La finalidad de esta reducción puede ser con fines diferentes y por distintos procesos. (Cabrera, 2012)

Ya sea por un proceso de triturado, quebrantamiento, pulverización o molienda, las operaciones para reducir el tamaño tienen la finalidad de adecuar un material para un uso posterior o sea aumentar la superficie para posterior reacción.

- Trituración, para tamaños grandes.
- Molienda, para tamaños entre 1 mm y 5 cm.
- Pulverización para tamaños menores a 1 mm.

Para llevar a cabo esta reducción es necesario aplicar fuerzas superiores para lograr la ruptura de la resistencia de los materiales. (Cabrera, 2012)

2.6.1 Molino de discos

Consiste en dos discos que se frotan uno al otro. Los discos pueden estar en posición vertical u horizontal. Si se usan dos platos, uno se mueve en un eje y el otro está fijo o se mueve en dirección contraria. La molienda fina es más costosa en un molino de discos que con un molino de martillos. (Hall & Salas Arango, 1968)

En este proceso el sólido avanza en un ducto por acción de un tornillo sin fin y llega a un punto en donde se proyecta hacia afuera entre dos discos. Los discos pueden ser uno fijo y el otro móvil o bien los dos móviles, en rotación opuesta. Generalmente ingresan partículas de 1 cm o menos y se reducen hasta obtener polvos de 200 Mesh. (Cruz, 2016)

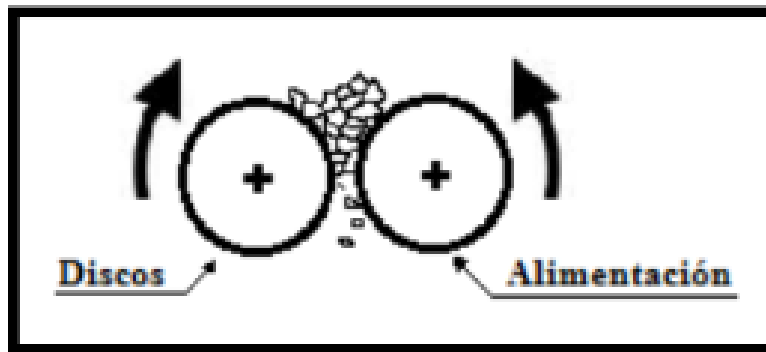


Imagen 4: Molino de discos

Fuente: (Cruz, 2016)

2.6.2 Molino de martillos

Consiste de martillos fijos u oscilantes, montados en un eje de rotación, de una criba y de un ventilador. Los martillos tienen una separación de 2.5 a 7.5 m y giran a una velocidad de 2500 a 4000 rpm, dependiendo del diámetro a las puntas de los martillos. Este molino es para una molienda fina ya que requiere menos potencia. La reducción de tamaño se debe a: (Hall & Salas Arango, 1968)

- La explosión debido al impacto de los martillos.
- Corte por los bordes de los martillos
- Acción de frotamiento o rozadura

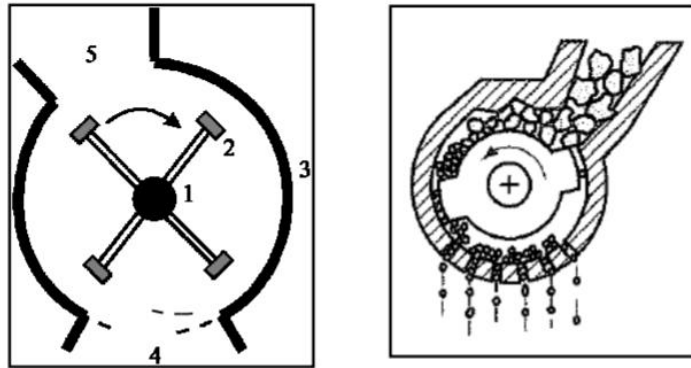


Imagen 5: Molino de martillos

Fuente: (Blanc, 2001)

2.6.3 Tamiz para harina

Los tamices para harina y productos alimenticios pulverulentos similares, particularmente los tamices del tipo destinado a sostenerse y ser manipulado por una mano, incluyen comúnmente un cuerpo recipiente con un fondo de criba y un conjunto de asa para sostener el tamiz y manipular el agitador. Los tamices deben seguir el movimiento ininterrumpido del mecanismo agitador de una manera que sea suave, cómoda y exija un mínimo esfuerzo por parte del usuario. (Baz, 1999)

Es frecuente usar pocos tamices y que en alguno de ellos se acumule una fracción mayoritaria, en ese caso no es posible determinar con precisión el diámetro medio (D50), ni la distribución. Se debe usar un mínimo de 10 tamices. Con el peso total de la muestra y los pesos retenidos en cada tamiz, se calcula el porcentaje acumulado y se representa la curva granulométrica en una escala logarítmica. La curva permite visualizar el tamaño medio de partícula (D50), que es la abscisa correspondiente a la fracción acumulada del 50%, así como la uniformidad de la distribución. (Baz, 1999)

Tabla 14: Tabla de conversión de Mesh hasta micrones en tamices

<i>US Malla</i>	<i>Abertura (mm)</i>	<i>Abertura (pulg)</i>
40	0.420	0.0165
45	0.354	0.0139
50	0.297	0.0117
60	0.250	0.0098

Fuente: (Carbotecnia, 2017)

7. PASTA ALIMENTICIA

Producto obtenido mediante el secado de una masa no fermentada elaborada a partir de sémolas, semolinas o harinas procedentes de trigo duro, trigo semiduro o trigo blando o sus mezclas y agua potable con o sin la adición de otros ingredientes, como: huevo, glutina, azafrán para colorearlas y aromatizarlas, o los sustitutivos de estos que sean permitidos por las disposiciones sanitarias. (Gómez, 2007)

2.7.1 Tipo de pastas alimenticias

- Pastas alimenticias simples:
Elaboradas con sémola o harinas procedentes de trigo duro.
- Pastas alimenticias compuestas:
Son las que se les incorporan sustancias alimenticias como gluten, soya, huevos, leche, bien naturales, desecadas o conservadas.
- Pastas alimenticias rellenas:
Son pastas constituidas por simples o compuestas que, en formas diversas, contengan en su interior un preparado necesariamente elaborado con todas o algunas de las siguientes sustancias: carne, grasas, productos de la pesca, pan rallado, verduras, etc. (Gómez, 2007)

2.7.2 Requisitos generales

1. El aspecto de la pasta cruda no debe ser mohoso; por el contrario, deberá ser uniforme, vítreo, translúcido y frágil.
2. El olor y sabor de la pasta no debe ser rancio ni ácido, deberá ser característico del trigo.
3. En la elaboración de pastas alimenticias no se deben utilizar colorantes artificiales ni naturales. El color de la misma vendrá dado por el color propio de la materia prima. Se aceptará una ligera presentación de puntos de afrecho, negros y blancos. (Merino, 1993)

2.7.3 Proceso de fabricación de pasta a manera industrial

La transformación de la sémola en una pasta de forma definitiva con el potencial de dar la textura requerida, se logra con los procesos de adición de agua, amasado y extrusión. La pasta forma una red proteica que encapsula los granos de almidón y esta estructura se moldea en un solo cuerpo con un mínimo de grietas e imperfecciones. (Mora, 2012)

Esta etapa comprende la humectación de las materias primas secas con los ingredientes líquidos. El mezclado pone en contacto la sémola y la harina con el agua y el huevo adicionado. La masa obtenida tiene la capacidad de fluir y tiene un contenido de humedad uniforme.

Durante la preparación de la masa se adiciona agua en una proporción entre 18% y 25% de las materias primas secas, para obtener una masa fresca que contiene una humedad promedio entre 30 y 32%.

En la etapa de amasado se incorporan a la sémola, harinas o mezclas agua y sal, y se mezcla durante un tiempo máximo de 10 minutos. En éste proceso, el gluten se desarrolla y absorbe el 90% de agua, produciendo un esponjamiento de masa y su

transformación en una masa homogénea y firme. Este proceso debe llevarse a cabo en amasadoras herméticas en ausencia de aire para evitar la aparición de burbujas que darían a la pasta un aspecto opaco y puntos de debilidad, además de favorecer la actuación de la lipo-oxifenasa que destruye los carotenos responsables del color amarillo. (Mora, 2012)

En el proceso de preparación de la masa, la prensa puede formar la estructura proteínica tradicional durante un corto tiempo si:

- Se utilizan materias primas con granulometrías reducidas.
- Se utiliza un sistema cerrado, con acción de transporte positivo en los elementos de mezcla y amasado.

La temperatura de la masa se monitoriza, para evitar excesos de temperatura. El proceso de amasado se lleva a cabo bajo vacío y utilizando el tradicional eje roscado simple. Tanto los cortos períodos de mezclado como el vacío, tienen otro efecto positivo ya que reduce las reacciones de descomposición enzimática. (Gómez, 2007)

- Prensado o Extrusión:

En el momento de pasar a extrusión el contenido de humedad de la masa debe estar alrededor de 28%. La mezcla se somete a una presión continua de hasta 150 atm a lo largo de un tornillo sin fin, procurando que no se alcance la temperatura de 50°C para no deteriorar la estructura proteica, que influiría negativamente en la cocción. Posteriormente la masa sale por una boquilla, donde se produce una expansión y el producto toma la forma del molde de la boquilla de salida. (Gómez, 2007)

- Secado:

Es el aspecto más delicado de la elaboración. El agua debe ser eliminada a velocidad uniforme para evitar gradientes de humedad en el interior de la masa que podrían causar agrietamientos. También hay que evitar el acortezamiento en la superficie del producto que puede obstaculizar la salida del agua de las zonas más internas de forma que queda encerrada al final del proceso. (Gómez, 2007)

- Se reducen los tiempos de secado al aumentar las temperaturas.
- Desde el punto de vista estructural, se ha constatado que la red proteínica se refuerza. La pegajosidad de la pasta cocida disminuye y se pueden utilizar mezclas con trigos blandos.

Las temperaturas de 40-60°C sólo se utilizan en empresas de reducida producción. Al aumentar las temperaturas (66-94°C) se reducen los tiempos de secado y el tamaño de las instalaciones; el producto tiene mayor estabilidad microbiana, la red proteica se refuerza, disminuye la adherencia de la pasta y pueden usarse mezclas de productos de trigos blandos (con menor contenido proteico) con óptimos resultados. Una temperatura excesiva durante el secado es indeseable, ya que provocará la aparición de color marrón en la pasta debido a un pardeamiento no enzimático extremo (reacciones de Maillard).

El producto se enfría hasta alcanzar la temperatura ambiente. Las pastas largas, que están cubiertas por varillas, se mueven a través del secador y luego a un apilador. Luego es cortada con sierras de alta velocidad para retirar las porciones curvas y recortar la pasta hasta la longitud deseada. (Mora, 2012)

2.7.4 Componentes de la pasta libre de gluten

- Huevo:

Las proteínas de huevo son una importante materia prima para la industria alimentaria debido a sus propiedades tecnológicas, especialmente gelificantes. Un huevo aporta unos 6g de proteína, repartidos fundamentalmente entre la yema y la clara. (Larrosa, 2014)

Los productos de huevo, albumen y yema, son ingredientes funcionales de importancia primordial para muchas formulaciones de alimentos. Las dos fracciones tienen diferentes composiciones, sin embargo, ambas contribuyen a las propiedades

funcionales del huevo entero; a clara se puede utilizar principalmente como un agente de formación de espuma y la yema como un emulsionante, debido a la presencia de las lipoproteínas. Estas propiedades se aprovechan de acuerdo a las necesidades de los productos, en particular, en la pasta fresca, la presencia de proteínas de huevo mejora las propiedades mecánicas y el comportamiento en la cocción del producto. La mejora de la calidad de la pasta está relacionada principalmente con la ovoalbúmina, que tiene propiedades de coagulación y gelificación. (Larrosa, 2014)

- Hidrocoloides:

Son aditivos esenciales para la producción de alimentos libres de gluten, puesto que pueden sustituir en cierta medida la funcionalidad del gluten, a través de la viscosidad que confieren o de sus propiedades visco elásticas. (Alvaréz, 2011)

- Goma Xantan: esta goma permitirá que la mezcla de harinas tenga características semejantes a la mezcla con gluten. Cuando una fuerza de corte es aplicada, la viscosidad se reduce en proporción directa a la fuerza de corte aplicada. Las operaciones de mezclado, bombeado y vertido de las soluciones se facilitan de esta manera requiriéndose gastos mínimos de energía para estos procesos. Cuando la fuerza de corte se detiene, la viscosidad aparente se recupera de inmediato.

Soluciones de Goma Xantan son extraordinariamente resistentes a la pérdida de viscosidad causada por prolongadas fuerzas de corte aplicadas a las soluciones, comparado con otros espesantes. (Alvaréz, 2011)

8. ADITIVOS ALIMENTARIOS

Según el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA) identificado con el código 67.04.54:10 de Alimentos y Bebidas Procesadas. Aditivos Alimentarios (2010), se detallan las numeraciones y funciones de los siguientes aditivos alimentarios utilizados para la elaboración de la harina de banano:

Tabla 15: Aditivos alimentarios de interés

<i>Aditivo Alimentario</i>	<i>Número</i>	<i>Función</i>	<i>Información</i>
Ácido ascórbico	INS 300	Antioxidante, agente de retención del color, regulador de la acidez.	Es un cristal incoloro, inodoro, sólido, soluble en agua, con un sabor ácido. Es un ácido orgánico, con propiedades antioxidantes, proveniente del azúcar.
Ácido Cítrico	INS 330	Regulador de la acidez, antioxidante, secuestrante.	Es un ácido orgánico tricarbóxico (compuesto oxigenado derivado de los hidrocarburos), que actúa como conservante y antioxidante. Este ácido está presente de forma natural en la mayoría de frutas.
Goma Xantan	E-415	Espesante, gelificante, alta viscosidad.	Es un polisacárido natural de alto peso molecular. Es industrialmente producido por la fermentación de cultivos puros del microorganismo <i>Xantomonas campestris</i> .

Fuente: (RTCA 67.04.54:10, 2010)

9. ANÁLISIS PROXIMAL

El análisis de los alimentos es un procedimiento analítico que permite evaluar las características de los alimentos, así como sus componentes. Permite analizar propiedades específicas de un producto y los resultados obtenidos son exactos. Este tipo de análisis se aplica tanto a la materia prima como al producto terminado con la finalidad de cumplir con los controles nutricionales establecidos.

Con dicho análisis, se logra la elaboración de tablas nutricionales, así como el ajuste de las cantidades en la formulación para desarrollar un producto que cumpla con las expectativas y necesidades que el mercado exige. (Carbajal & Ramírez, 2012)

Contenido de humedad

El contenido de humedad es un factor de calidad en la conserva de algunos productos ya que afecta la estabilidad de frutas y verduras deshidratadas. Es el porcentaje de agua que contiene un producto y se obtiene por medio del secado del alimento. Según el contenido de agua de un alimento, puede que sea mayor el riesgo de sufrir de contaminación por mohos, hongos y bacterias. (Carbajal & Ramírez, 2012)

Contenido de cenizas

Es la materia inorgánica que forma parte de los alimentos (sales minerales) La calcinación debe efectuarse a una temperatura adecuada, de forma que la materia orgánica se destruya totalmente y se mantengan las materias inorgánicas y pueda ser determinada el contenido de los mismos. (Carbajal & Ramírez, 2012)

Contenido de proteínas

Es el contenido de una mezcla compleja de proteínas. Estas existen en una combinación con carbohidratos o lípidos, que puede ser física o química. La proteína bruta se halla multiplicando el nitrógeno total (N) por un factor, que se ha calculado considerando los componentes básicos de un gran número de muestras del mismo alimento, y expresando el resultado como proteína. Alguno de estos factores, universalmente aceptados, son los siguientes: (López, Gutiérrez, & Pacheco, 2007)

Factor General: 6.25

Harina de Trigo: 5.70

10. ANÁLISIS SENSORIAL

Se trata de exámenes organolépticos especializados, usa técnicas basadas en la fisiología y psicología de la percepción. (Penna E. W., 2001) La valoración sensorial es una función que la persona realiza consciente o inconscientemente, a aceptar o rechazar los alimentos según las sensaciones que experimenta al observarlos o ingerirlos.

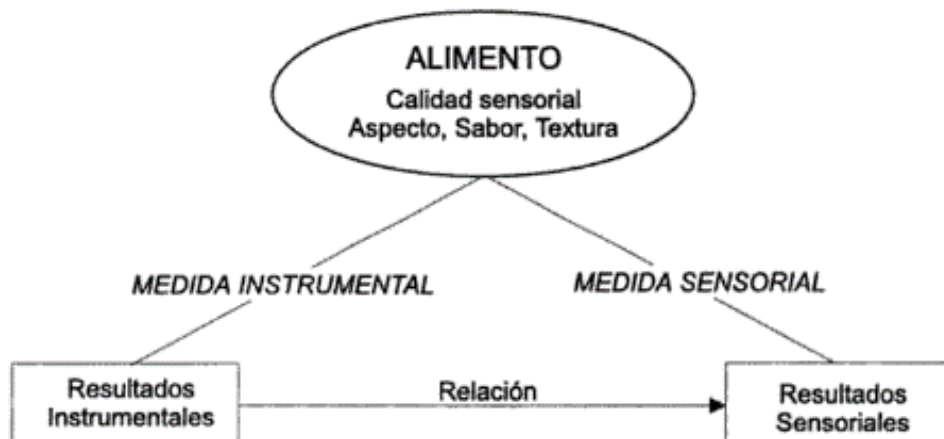


Figura 2: Esquema representativo de la medida de la calidad sensorial

Fuente: (J. Sancho, 1999)

La evaluación sensorial evalúa las propiedades organolépticas del alimento por medio de los cinco sentidos en donde se mide, analiza e interpreta las reacciones a las características de un alimento a través de la vista, olfato, gusto, tacto y oído.

Las pruebas sensoriales se dividen en dos ramas:

- Pruebas afectivas: Son realizadas por un grupo selecto de degustadores los cuales son representativos consumidores de la población en donde la finalidad es informar acerca de la preferencia, aceptación o nivel de agrado que se tiene por el alimento.
- Pruebas analíticas: Son realizadas por un grupo reducido de personas o jueces expertos en un panel sensorial. En estas pruebas se busca una descripción experta de la calidad del producto. (Aguirre, 2016)

2.10.1 Prueba de comparación pareada (prueba afectiva discriminadora de preferencia)

Se realizará una prueba afectiva discriminadora de preferencia con el fin de conocer la preferencia de los consumidores ante la comparación del producto en general (olor, sabor, color, consistencia, aspecto etc.) del espagueti elaborado a partir de harina de banano verde y harina de yuca en porción 55:45 contra harina de trigo sin gluten y harina de yuca en porción 55:45. Así mismo, se comparará específicamente el atributo sensorial “sabor”, dado a que se tiene como objetivo determinar si la adición de harina de banano verde produce cambios en la percepción del producto. En la boleta de evaluación se solicitará que expresen cuál de las muestras prefiere respecto a “sabor” y en general. (Ortiz, 2015)

11. ANÁLISIS DE LABORATORIO

2.11.1 Análisis fisicoquímicos

- pH: es el potencial de hidrógeno es un indicador de la concentración de iones de hidronio en determinada solución lo que hace referencia a su nivel de acidez o alcalinidad. La acidez en los alimentos se deriva de los ácidos orgánicos e inorgánicos que pudiesen estar presentes.

Este parámetro se utiliza para la conservación de los alimentos debido a que en la presencia de un pH bajo se logra inhibir el crecimiento de ciertos microorganismos. (Barreiro & Sandoval, 2006)

- °Brix: es el porcentaje de sacarosa presente en una solución. Un grado brix corresponde a 1 gramos de sacarosa en 100 g de solución por lo que se representa en peso (%m/m). Los grados brix se cuantifican utilizando un refractómetro.

12. HARINA DE ARROZ

El arroz es uno de los cereales más adecuado para preparar alimentos libres de gluten debido a que su harina se caracteriza por tener un sabor suave y color blanco, es fácil de digerir y adicionalmente es hipoalergénica, debido al tipo de proteínas que contiene. Además presenta bajo contenido de sodio y alto contenido de carbohidratos fácilmente digeribles.

La harina de arroz es rica en proteína. Es obtenida por la molturación del grano blanco de arroz, se utiliza principalmente como espesante. (Segura, 2013)

13. HARINA DE YUCA

Es una harina de alta calidad que se utiliza como sustituto de la harina de trigo, maíz y arroz entre otros, en formulaciones de alimentos. También es utilizado como espesante y extensor de sopas deshidratadas, condimentos, papilla para bebé y dulces. (INCA, 2004)

La principal característica de la harina de yuca es su alto contenido en carbohidratos (almidón), que proporciona un nivel de energía comparable con la del maíz y el sorgo. También se caracteriza por su alto contenido de proteína (18 – 22%) y de fibra (25 – 30%). (Primer Encuentro Técnico Nacional de Producción y Transformación de Yuca, 1998)

14. HARINA DE MAIZ

Harina granulada obtenida de la molturación de granos de maíz. La harina de maíz puede refinarse, hacerse muy fina y utilizarse como espesante. (Martínez, 2010)

La principal ventaja de la harina de maíz con respecto a otras harinas es el hecho de carecer de gluten por lo que resulta adecuada para personas con enfermedad celiaca. Es un alimento que sufre de deficiencia de aminoácidos. Así mismo, es una buena fuente de hidratos de carbono, minerales, vitamina B y vitamina A.

15. GLUTEN

De acuerdo al Reglamento No 41/2009 de la Comisión de las Comunidades Europeas sobre la composición y etiquetado de productos alimenticios apropiados para personas con intolerancia al gluten. En su artículo 2: Se entenderá por «gluten»: una fracción proteínica del trigo, el centeno, la cebada, la avena o sus variedades híbridas y derivados de los mismos, que algunas personas no toleran y que es insoluble en agua. Y se entenderá por trigo: cualquier especie de Triticum.

Las proteínas de almacenamiento del trigo son capaces de formar el gluten. La formación del gluten es un artefacto del procesamiento de la harina, se forma como resultado de la interacción de las dos principales clases de proteínas las gliadinas y las gluteninas, las cuales interactúan cuando la harina es mezclada con agua para formar la masa viscoelástica. Aunque las proteínas de almacenamiento están presentes en otros cereales (triticale, cebada y centeno y avena), el comportamiento viscoelástico de gluten de trigo y su funcionalidad lo distingue de otros granos o proteínas vegetales (Hoseney & Delcour, 1991). El gluten está definido como un gel formado por las proteínas de almacenamiento del grano de trigo cuando se trabaja mecánicamente una mezcla de harina y agua. Está formado por un 80% de proteína y un 8% de lípidos, base sustancia seca, con un resto de hidratos de carbono y cenizas. (Hoseney & Delcour, 1991)

2.15.1 Alimentos sin gluten

De acuerdo al CODEX ALIMENTARIO (CODEX STAN 118 – 1979): La norma Codex relativa a los alimentos para regímenes especiales destinados a personas intolerantes al gluten, adoptada por la Comisión del Codex Alimentarius en su 31^a sesión de julio de 2008, indica que:

Los alimentos libres de gluten son alimentos dietéticos:

a) Consiste en uno o más ingredientes que no contengan trigo (es decir, todas las especies de *Triticum*, como el trigo, espelta y kamut), centeno, cebada, avena o sus variedades, y el nivel de gluten no debe exceder de 20 mg/kg en total, basado en el alimento tal y como es vendido o distribuido al consumidor. (Segura, 2013)

16. ENFERMEDAD CELÍACA

Según (García-Caballero & González-Meneses, 2000), la enfermedad celiaca se define como una intolerancia permanente al gluten que cursa con atrofia de las vellosidades del intestino proximal con signos clínicos y/o bioquímicos de mala absorción y que se recupera tras la exclusión del gluten de la dieta. Esta enfermedad es autoinmune debido a que el sistema inmunológico se encuentra erróneamente provocando una sustancia para producir anticuerpos y atacar partes de su propio cuerpo.

En los celiacos, esta sustancia es el gluten y los anticuerpos atacan las microvellosidades que recubren el intestino delgado. El alimento al ser ingerido, pasa a través del intestino delgado en donde la función de las vellosidades es absorber los nutrientes necesarios para sostener el cuerpo. Al no ser una persona diagnosticada, las vellosidades mueren y dejan de absorber nutrientes por lo que puede causar una anemia severa. (AOECS, 2015)

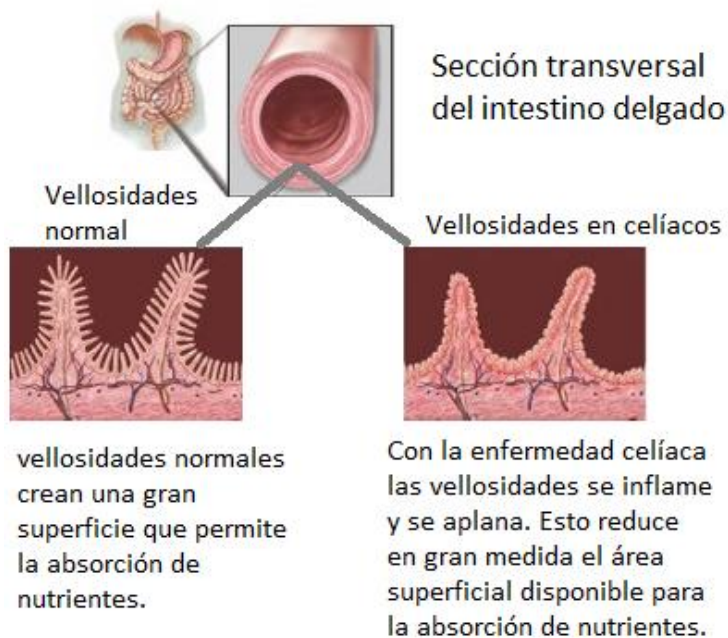


Imagen 6: Vellosidad del intestino delgado de una persona sin intolerancia al gluten comparada con una persona con enfermedad celiaca.

Fuente: (Canadian Celiac Association, 2005)

Los síntomas son provocados por gluten, el nombre dado a ciertas proteínas en el trigo (incluyendo espelta y el kamut), la cebada, el centeno y el triticale (un cruce entre trigo y centeno). En la enfermedad celíaca, el sistema inmunológico del cuerpo responde anormalmente a gluten, lo que resulta en la inflamación y el daño a la mucosa del intestino delgado, y la reducción de la absorción de hierro, calcio, vitaminas A, D, E, K, y ácido fólico. (Canadian Celiac Association, 2005)

2.16.1 Frecuencia de enfermedad celíaca

La enfermedad celíaca es ahora reconocida como una de las enfermedades crónicas más comunes en el mundo. Se estima que afecta a unos 1 de cada 100 - 200 personas en América del Norte. Nada menos que 300.000 canadienses podrían tener esta enfermedad; sin embargo, muchos permanecen sin diagnosticar.

Familiares de primer grado (padres, hermanos, hijos) de una persona con enfermedad celíaca tienen una probabilidad del 10 % de tener esta condición. Por lo tanto, los miembros de la familia, especialmente si tienen síntomas, debe hacerse la prueba para la enfermedad celíaca. Las pruebas para la enfermedad celíaca enfermedad también se recomienda para las personas con diabetes tipo 1, enfermedad de la tiroides y síndrome de Down ya que ellos también tienen un mayor riesgo de tener la enfermedad celíaca. (Health Canada, 2009)

Se calcula a nivel mundial una incidencia para esta enfermedad de entre 1 por cada 500 y 1 por cada 3,000 nacidos vivos, de donde se deduce el alto número de posibles afectados, no siempre diagnosticados por la existencia de formas clínicas silentes o con manifestaciones clínicas difícilmente relacionables con la enfermedad por apartarse demasiado del patrón clínico clásico.

Un estudio realizado en agosto del 2005 en Guatemala, se muestra que, de 39 personas evaluadas con la enfermedad celiaca, el 41% fueron de género masculino y

el 59% femenino. Se encontró que la media de edad fue de 44.33 y la mediana de 43, con una edad mínima de 15 y una máxima de 82 años. Así mismo, el 69% de los pacientes son nacidos en la capital de Guatemala seguido por Escuintla con un 10%. (Vargas, 2006)

2.16.2 Síntomas de la enfermedad celíaca

Los síntomas de la enfermedad celíaca varían mucho de una persona a otra. Algunos pueden tener sólo un síntoma, como la diarrea o la anemia, mientras que otros pueden tener una serie de síntomas. La Tabla 11 enumera los signos y síntomas de la enfermedad celíaca comunes y en la Tabla 12 se enumeran los síntomas adicionales en los niños. (Canadian Celiac Association, 2005)

A medida que la enfermedad progresa, muchos sistemas del cuerpo pueden estar involucrados incluyendo la reproducción gastrointestinal y el sistema nervioso. La sangre, los huesos, los dientes y la piel también pueden verse afectados.

La forma de la piel de la enfermedad celíaca se llama dermatitis serpentina. En esta condición, ampollas, erupciones en la piel muy picante se produce de forma simétrica (en ambos lados del cuerpo) y aparece con más frecuencia en los codos, rodillas, glúteos, espalda y cuello.

Algunos individuos con enfermedad celíaca tienen una prueba positiva de sangre y una biopsia intestinal positiva (muestra de tejido), pero no presentan síntomas. Esto se conoce como la enfermedad celíaca silenciosa. (Maselli, 2013)

Tabla 16: Señales y síntomas comunes en la enfermedad celíaca

<i>Síntomas comunes</i>	
Anemia - las deficiencias de hierro, ácido fólico y / o vitamina B12	Fácil formación de hematomas
Las deficiencias de las vitaminas A, D, E, K	Dolor de huesos/articulaciones
Distención abdominal, gases	Inflamación de tobillos/manos
Indigestión, úlceras en la boca	Náuseas y Diarrea
Infertilidad en ambos sexos	Abortos involuntarios
Estreñimiento	Debilidad/fatiga
Dolor de cabeza	Pérdida de peso (puede ser exceso de peso).

Fuente: (Health Canada, 2009)

Tabla 17: Síntomas adiciones comunes en niños

<i>Síntomas comunes</i>	
Vómitos	Irritabilidad, cambio de humor.
Crecimiento deficiente/baja estatura	Pubertad atrasada.

Fuente: (Health Canada, 2009)

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El banano es el cuarto producto agrícola más importante del mundo, después del maíz, trigo y arroz en cuanto a términos de producción. Es una fuente económica, accesible y de fácil producción de energía, así como de vitaminas A, C y B₆.

Esta fruta posee el segundo lugar en productos de exportación en Guatemala, pero un 5% de la producción es rechazada debido a que no cumple con los estándares de calidad establecidos por los países compradores; por lo que se utiliza para consumo local. El porcentaje de producto rechazado que no es consumido aumenta debido a que la demanda interna no es lo suficientemente alta para absorberla en su totalidad. Estos productos representan pérdidas para los productores, lo que genera una necesidad de utilidad de los mismos. Con el objetivo de disminuir ese problema, se crea la opción de elaborar harina de banano verde utilizando los bananos que no han cumplido con las características requeridas para exportar. Esta opción representa una ventana de oportunidad económica para los productores de banano y una opción de productos saludables para los consumidores.

El banano es una fruta que, por su origen y biología no contiene gluten lo que lo hace una fuente ideal para la realización de productos dirigidos a personas celiacas. Debido a su bajo contenido de proteínas lo clasifica como una harina suave.

El banano verde no ha generado los azúcares respectivos y por ende el sabor característico aún no se ha desarrollado. Por esta razón, la elaboración de una harina que pueda ser una opción que sustituya a las harinas que poseen gluten y ser un método de aprovechamiento para las industrias bananeras en cuanto a la deserción del banano pueda generar un beneficio debido a la falta de las características básicas para su exportación y la búsqueda de nuevas alternativas para las personas con intolerancia al gluten.

Utilizando la harina procesada se realizará una pasta saborizada con espinaca (tipo espagueti) la cual cumplirá con las características necesarias tanto para el consumidor general como para el intolerante al gluten, por lo que la aplicación de la harina puede generar un valor adicional al tener aceptación de ambos consumidores.

¿Es posible desarrollar un producto de pasta con harina de banano verde, que sea aceptada y preferida por personas consumidoras, y que sea una opción saludable para las personas que sufren de enfermedad celiaca?

3.1 OBJETIVOS

3.1.1 Objetivo general

Elaborar una harina a base de banano verde para utilizarla en la formulación de pastas como una opción de alimento para las personas celiacas.

3.1.2 Objetivos específicos

- Definir el proceso óptimo para la deshidratación del banano verde, controlando la temperatura, tiempo y condiciones de proceso (pH, °Brix, solución de inmersión, grosor de corte).
- Obtener el rendimiento porcentual de la elaboración de harina a base de banano verde.
- Evaluar diferentes mezclas de harina de banano verde con harina de otros productos que por origen no contengan gluten en distintas proporciones (50:50, 55:45, 60:40) para obtener la formulación de la pasta tipo espagueti.

- Evaluar la aceptación sensorial de las pastas saborizadas con espinaca y elaboradas a partir de la harina a base de banano verde versus una pasta elaborada a partir de una harina comercial de trigo sin gluten.

3.2 HIPÓTESIS

3.2.1 Hipótesis nula

1. H_0 = No se percibieron o detectan preferencias significativas para las dos preparaciones, las preferencias observadas se pueden atribuir al azar.

3.2.2 Hipótesis alternativa

2. H_1 = Las preparaciones de las muestras son diferentes, tienen distintos niveles de aceptación.

3.3 VARIABLES

3.3.1 Variables independientes

- Porcentaje de aditivos en solución de inmersión ácida
- Tiempo y temperatura de secado
- Formulación
- Procesamiento de elaboración de espagueti

3.3.2 Variables dependientes

- Estabilidad de la harina de banano verde
- Balance de masa y rendimiento
- Análisis sensorial
- Análisis fisicoquímico
- Análisis microbiológico

3.4 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES

1. Porcentaje de aditivos en solución ácida

- a. Conceptual: ingrediente o combinación de ingredientes añadidos a la mezcla base del alimento o a parte de ésta para satisfacer una necesidad específica. Normalmente se utiliza en micro cantidades y requiere un mezclado y una manipulación cuidadosos. (The Association of American Feed Control Officials, 2000)
- b. Operacional: distintas formulaciones que se realizaron en cuanto a la variación de la proporción de los ácidos a utilizar (ácido ascórbico y ácido cítrico) para evitar el pardeamiento del banano.

2. Tiempo y temperatura de secado

- a. Conceptual: temperatura es la magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente. Su unidad en el sistema internacional es el Kelvin (K). Tiempo es la magnitud física que permite ordenar la secuencia de los sucesos, estableciendo un pasado, un presente y un futuro, y cuya unidad en el sistema internacional es el segundo. Secado es la acción y efecto de secar. (Asociación de Acedemias de la Lengua Española, 2017)
- b. Operacional: magnitud medida en grados Celsius que se controló entre 50 – 65 °C como temperatura de secado. Magnitud medida en horas que se realizaron variaciones para la determinación de la idónea para el proceso de secado.

3. Formulación

- a. Conceptual: prescribir un alimento, con expresión de su contenido, preparación y uso. (Asociación de Acedemias de la Lengua Española, 2017)

- a. Operacional: porcentajes utilizados de cada ingrediente o componente para elaborar la pasta tipo espagueti aceptable sensorialmente. Para el espagueti se varió el porcentaje de harina de banano y la harina que de origen no contiene gluten para ser evaluada en una prueba de preferencia.

4. Procesamiento de elaboración de espagueti

- b. Conceptual: son todas aquellas acciones que cambian o convierten la materia vegetal o animal cruda en un producto seguro, comestible y que se disfruta y saborea mucho más. (Consejo para la Información sobre Seguridad de Alimentos y Nutrición, 2017)

- b. Operacional: uso de ingredientes cuantificados por medio de la formulación establecida, que atravesaron un proceso de mezclado, extrusión, secado y empaçado para la elaboración de espagueti con harina de banano verde.

5. Estabilidad de la harina de banano verde

- a. Conceptual: cualidad de estable; que mantiene o recupera el equilibrio. (Asociación de Acedemias de la Lengua Española, 2017)

- b. Operacional: se determinó en base a las distintas variaciones de tiempo de secado y exposición en la solución ácida para mantener homologado el proceso de obtención de harina de banano verde.

6. Balance de masa y rendimiento

- a. Conceptual: estudio comparativo de las circunstancias de una situación, o de los factores que intervienen en un proceso, para tratar de prever su evolución. (Asociación de Acedemias de la Lengua Española, 2017)

- b. Operacional: se determinó la entrada y salida de materia para cada etapa del proceso de secado tanto de la harina como del espagueti para así calcular los rendimientos.

7. Análisis Sensorial

- a. Conceptual: es el examen de las propiedades organolépticas de un producto realizable con los sentidos humanos. Es un conjunto de técnicas para la medida precisa de las respuestas humanas a los alimentos y minimiza los potenciales efectos de desviación que la identidad de la marca y otras informaciones pueden ejercer sobre el juicio del consumidor. (Ahued, 2014)
- b. Operacional: se realizó un análisis sensorial en donde se estudió el nivel de preferencia entre una muestra de espagueti elaborado con harina de banano verde y una muestra de espagueti elaborado con harina sin gluten comercial.

8. Análisis Físicoquímico

- a. Conceptual: están apoyados en el empleo de instrumentos que responden a los más variados principios físico y químicos. El principio general radica en aprovechar de modo cuantitativo, siempre bajo condiciones experimentales muy estrictas y perfectamente controladas, los fenómenos de interacción que se dan entre las radiaciones y la materia, ya sean átomos, moléculas o iones. (Gutiérrez, 2000)
- b. Operacional: se estudiaron los parámetros grados °Brix y pH en el proceso de elaboración de harina de banano verde. Para producto terminado de harina se estudiaron los parámetros de porcentaje de cenizas, porcentaje de humedad y porcentaje de proteínas.

9. Análisis Microbiológico

- a. Conceptual: para la caracterización y recuento de microorganismos que pueden estar presentes en un alimento, muchas veces como consecuencia de una contaminación. Tiene un interés eminentemente sanitario pues se suele realizar para confirmar la ausencia de patógenos, aunque también aplica para conocer la existencia de una posible carga microbiana alterante del alimento durante su conservación, más o menos prolongada. (Gutiérrez, 2000)
- b. Operacional: se analizó la presencia de *E. Coli*, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella ssp.* en la pasta terminada y en harina mohos y levaduras.

3.5 ALCANCES Y LÍMITES

3.5.1 Alcances

Dentro de los alcances de esta investigación se encuentran realizar dos formulaciones de espagueti, siendo una con la harina desarrollada de banano verde y otra con harina comercial sin gluten, las cuales serán evaluadas en base a sus atributos de apariencia, sabor y textura por el sujeto de la investigación y así poder determinar la preferencia entre los productos.

El trabajo de investigación se realizó con una muestra de 100 individuos a nivel urbano. Los individuos de la muestra fueron hombres y mujeres que comprenden edades entre los 18 a 55 años, a quienes se les realizó una encuesta para descartar a las personas que no sean consumidoras del producto tipo pasta, esto con el fin de obtener resultados estadísticamente representativos en cuanto a la preferencia del producto.

3.5.2 Límites

Entre las limitaciones se puede establecer el no tener un costo de producción específico tanto para la elaboración de harina de banano como para el producto terminado, pasta tipo espagueti debido a no existir un valor económico para el banano de rechazo.

El horno es semi industrial, ubicado en la planta Piloto de la Universidad Rafael Landívar, al ser un área de uso común de estudiantes, no se puede asegurar que el horno permaneció cerrado el total del tiempo de deshidratado, ya que no hay una forma de bloqueo de las puertas, lo que implica una pérdida de calor e ingreso de humedad del ambiente cada vez que la puerta fuera abierta.

El equipo utilizado para el proceso de secado fue un horno el cual no posee extracción de humedad ni ventilación lo que hizo un secado más lento y con menor eficiencia que un deshidratador como tal.

El acceso limitado a la planta piloto de alimentos de la universidad al no tener la posibilidad de asistir en el horario establecido o requerido para completar el análisis y la limitante de equipo al tener que utilizar un horno para el secado del producto.

Debido al poco conocimiento de la enfermedad, ausencia de una asociación, o disponibilidad estadística de la población con la enfermedad celiaca, se decidió realizar un estudio a consumidor común, y no se realizó la evaluación sensorial específicamente a una población de personas con intolerancia al gluten ya que no se cuenta con cifras de personas guatemaltecas que sufran de esta enfermedad lo cual dificulta el cálculo estadístico de muestra.

No se puede validar la ausencia de trazas de gluten en el producto debido a la maquinaria y el equipo en el que se trabaja.

3.6 APORTE

Guatemala es un productor de banano en donde es el segundo producto de mayor importancia en la exportación. Según (AGEXPORT, 2017), reporta los datos de exportación a julio 2016 tiene una participación del 6.5% del total de la actividad. El cultivo del banano está presente en el 60% de los municipios de Guatemala y constituye fuente de ingreso para miles de guatemaltecos.

El banano que no es para exportación es seleccionado y se divide en el de consumo nacional y el banano de rechazo que no cumple con los estándares para exportar y en algunos casos, no cumple para venta interna por lo que se utiliza para la alimentación de ganado debido al tamaño del producto.

Guatemala es un país que se encuentra en constante desarrollo y en los últimos años se ha encontrado con la falta de productos que satisfagan a los consumidores que padecen de problemas de intolerancia, en este caso al gluten, por lo que se busca el desarrollar un producto que beneficie a este segmento de clientes y brindarles opciones de alimentación apta para sus necesidades.

A los estudiantes y docentes de Ingeniería y carreras afines a alimentos como una fuente de investigación, guía de estudio de procesos de formulación de alimentos, análisis de productos y evaluación de un proceso referente a la producción de harina de banano verde.

A la Universidad Rafael Landívar, aporte de conocimientos referentes a la formulación de alimentos y evaluación de procesos que involucran la elaboración de productos a partir de una harina de banano verde para personas celiacas.

IV. METODOLOGÍA

4.1 SUJETOS Y UNIDADES DE ANÁLISIS

Para la realización del presente trabajo de investigación se obtuvo información por distintos medios y fuentes, los cuales se describen a continuación.

4.1.1 Sujetos

a. Personas con experiencia en el campo de estudio:

- Técnico con especialización en comida italiana, Hugo Díaz Ovando, graduado como chef del INTECAP, experiencia de más de 10 años en el desarrollo y producción de pastas alimenticias.

b. Panel de análisis sensorial con mercado objetivo:

Análisis realizado en el mes de marzo del 2017 en una planta productora de pastas con una muestra de cien personas consumidoras, comprendido entre los 18 y 55 años de edad.

4.1.2 Unidades de Análisis

- Banano
- Tiempo de secado en el proceso de elaboración de harina
- Temperatura de secado en el proceso de elaboración de harina
- Formulación de la pasta para comprar nivel de aceptabilidad entre las harinas utilizadas
- Harina de maíz, arroz y yuca
- Resultados de encuesta del análisis sensorial

- Reporte de resultados en la harina de humedad, ceniza y proteínas, realizado en el laboratorio de CONCALIDAD en la Universidad Rafael Landívar
- Reporte de resultados en la harina en contenido de gluten como alérgeno
- Reporte de resultados microbiológicos en la pasta, realizado en el laboratorio de CONCALIDAD en la Universidad Rafael Landívar

4.2 INSTRUMENTOS

A continuación, se detallan las especificaciones sobre el equipo y utensilios utilizados para la elaboración del producto.

Tabla 18: Equipos a utilizar

<i>Equipo</i>	<i>Imagen</i>	<i>Descripción y Capacidad</i>	<i>Uso</i>
Balanza Electrónica		My Weight KD-7000 Capacidad: 7kg Precisión: 1g Incertidumbre: $\pm 0.0005g$	Utilizada para el pesaje de materia prima y producto deshidratado.
Refractómetro		ATAGO. Pocket PAL-1 0 – 53% Brix Incertidumbre: $\pm 0.05^\circ$.	Utilizado para medición de grados °Brix en banano.

Potenciómetro		<p>Hanna Instruments. HI9125 Incertidumbre: ± 0.05</p>	<p>Utilizado para medir pH en solución de inmersión.</p>
Secador de 3 rejillas		<p>Vulcan. VHP7 Eléctrico: 120 Voltios Temperatura: 0 – 105°C</p>	<p>Utilizado para deshidratación del banano.</p>
Molino KOMO		<p>Fidibus XL 600W Molienda con piedra.</p>	<p>Utilizado para moler de forma fina el banano deshidratado.</p>
Molino HASA		<p>HASA Molino de rotor.</p>	<p>Utilizado para moler el banano deshidratado.</p>

<p>Mezcladora y Extractor</p>		<p>La Parmigiana D45-C</p>	<p>Utilizado para mezclar y realizar la forma de la pasta (espagueti)</p>
-----------------------------------	---	--------------------------------	---

Elaboración propia (2017)

Tabla 19: Utensilios y cristalería a utilizar

<i>Utensilio/Cristalería</i>	<i>Imagen</i>	<i>Descripción y Capacidad</i>
<p>Probeta 1 ± 0.005L</p>		<p>Utilizada para la medición de agua para la inmersión de bananos.</p>
<p>Tabla para picar</p>		<p>Utilizada para el corte y pelado del banano.</p>
<p>Cuchillo</p>		<p>Utilizado para el corte y pelado del banano.</p>
<p>Recipientes de acero inoxidable</p>		<p>Utilizado para contener producto.</p>

<i>Utensilio/Cristalería</i>	<i>Imagen</i>	<i>Descripción y Capacidad</i>
Fuete		Utilizado para agitar la solución de agua con ácido cítrico y ascórbico.
Bandejas perforadas de acero inoxidable		Utilizadas para colocar el banano a deshidratar.
Bandejas de acero inoxidable		Utilizadas para colocar el banano a deshidratar.
Olla de acero inoxidable.		Utilizada para colocar los bananos en inmersión.

Elaboración propia (2017)

4.3 Boleta de evaluación sensorial

Favor de responder las siguientes preguntas marcando con una (X) dentro del cuadro de su respuesta:

1. ¿Le gusta consumir pastas (espagueti, macarrones, coditos, lasaña, etc.)?

Si No

Si su respuesta fue “No”, ¡¡Gracias por su colaboración!! Si su respuesta fue “Si”, continúe con el cuestionario.

2. ¿Con qué frecuencia consume y/o compra pastas?

1 vez por semana 2 veces por semana 3 o más veces por semana

EVALUACIÓN SENSORIAL

GENERO: Femenino Masculino

FECHA: _____

INSTRUCCIONES:

Usted ha recibido dos muestras. Pruebe la primera, seguidamente tome agua procurando limpiar todo su paladar y pruebe la segunda. Coloque el número de las mismas y responda con una (X): ¿Cuál de las dos muestras prefiere?

Número de Muestra	Preferencia

Comentarios/Sugerencias: _____

¡Muchas gracias!

Figura 3: Encuesta a utilizar para elaboración de análisis sensorial

Elaboración propia (2017)

4.4 PROCEDIMIENTO

4.4.1 Diagrama del proceso del estudio de investigación

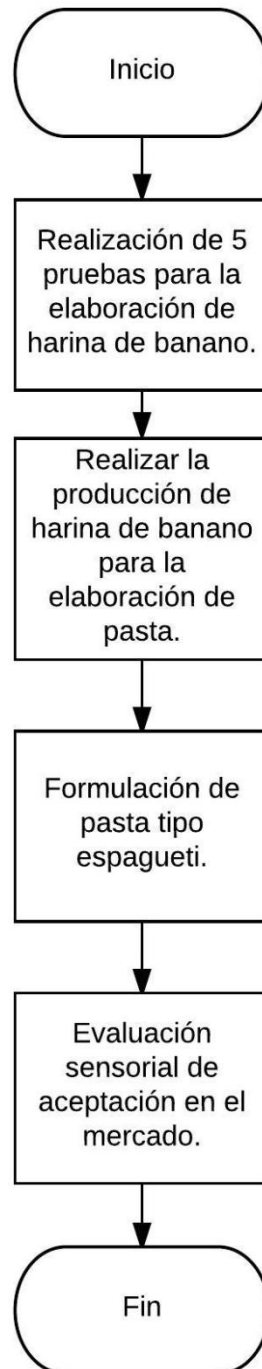


Diagrama 1. Proceso de investigación

Elaboración propia (2017)

4.4.2 Diagramas específicos



Diagrama 2. Proceso de elaboración de harina a partir de banano verde
Elaboración propia (2017)

Descripción de proceso de elaboración de harina de banano verde:

1. Selección de materia prima: se selecciona banano verde que se encuentre en su segunda semana de maduración, se utilizan los bananos que posean el color verde característico según la Tabla 11 donde Hartón propone una selección visual para la maduración del banano y sin marcas de que hayan sido tratados de forma incorrecta.
2. Lavado por inmersión: este proceso se realiza con el fin de limpiar y desinfectar los bananos verdes por objetivo de asegurar la inocuidad del producto terminado. Se utiliza una concentración de 10 ppm de hipoclorito de sodio grado alimenticio.
3. Enjuague y escurrido de banano: el enjuague se realiza con el fin de retirar del producto trazas de hipoclorito de sodio y el escurrido se realiza para eliminar el exceso de agua antes de proceder al corte del mismo.
4. Pelado y troceado: el pelado del banano se realiza manualmente para posteriormente realizar el pesaje de la merma en el proceso de elaboración. El proceso de troceado se lleva a cabo de manera que se eviten mayores o menores grosores, debido a que si son mayores se tienen problemas de aumento de energía en el secado o proceso de secado incompleto y si el grosor es menor el producto se cocina en exceso. El grosor ideal para un buen secado se considera entre 2 a 4mm lo cual se garantiza por medio de una máquina para mantener el grosor de 3mm en cada rodaja realizada.
5. Inmersión en solución ácida: la inmersión acida se hace utilizando un volumen de agua con aproximadamente un 0.17% de ácido ascórbico y un 0.115 % de ácido cítrico, esto con el fin de impedir el pardeamiento del banano y alterar las propiedades organolépticas finales de la harina.
6. Escurrido de rebanadas: proceso para eliminar o reducir la cantidad de agua a la cual han sido sometidas las rebanadas de banano. Se realiza con un escurridor.
7. Secado: el secado se realiza en hornos y se disponen las rodajas en bandejas de acero inoxidable, se usan temperaturas entre 60 y 65°C con el fin de disminuir la humedad hasta valores del 18% m/m.

8. Molienda: el producto seco en rodajas se lleva a un molino de discos, por medio de un tornillo sin fin se alimenta el producto seco el cual reduce el tamaño de los trozos de banano a un producto en polvo de partículas fina.
9. Empaque e identificación: para este proceso se coloca el producto en bolsas de un contenido de 450g aproximadamente para luego ser selladas y se le coloca la fecha de producción.



Diagrama 3. Proceso de elaboración de pasta tipo espagueti a partir de la harina de banano verde

Elaboración propia (2017)

Descripción de proceso de elaboración de pasta tipo espagueti:

1. Pesaje de materia prima: se realiza el proceso de pesar la materia prima para estandarizar el proceso de elaboración de la pasta tipo espagueti. De esta forma evitamos variaciones de color y sabor en el producto terminado.
2. Mezcla de materia prima: se continúa con la mezcla por medio de aspas las cuales logran la homogenización de la mezcla para que se tenga un color y sabor uniforme a espinaca.
3. Extrusión: por medio de un tornillo sin fin, se somete la mezcla a una presión continua para salir por una boquilla la cual produce una expansión y se da la forma del molde, en este caso espagueti.
4. Secado: es un punto crítico de control en el proceso de elaboración de harina. El agua debe ser eliminada a velocidad uniforme para evitar gradientes de humedad en el interior de la masa que podrían causar agrietamientos. También hay que evitar el acortezamiento en la superficie del producto que puede obstaculizar la salida del agua de las zonas más internas de forma que queda encerrada al final del proceso. Se realiza en un secador a base de luz en donde se mantiene durante 30 minutos a 40 – 60 °C.

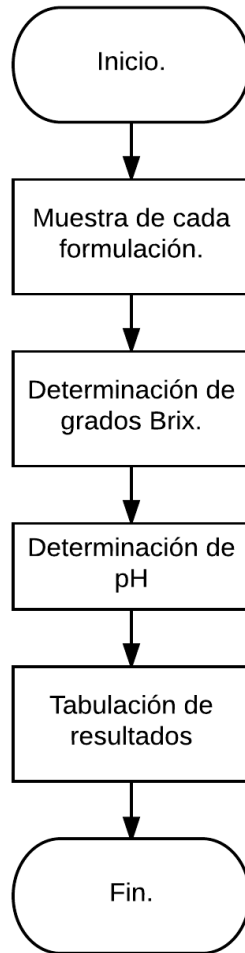


Diagrama 4. Procedimiento evaluación de parámetros fisicoquímicos

Elaboración propia (2017)

Descripción evaluación de parámetros fisicoquímicos:

1. Muestra de cada formulación: apartar 50 gramos del producto a analizar (harina de banano, pasta).
2. Determinación de grados °Brix: con el uso del refractómetro, realizar la medición de grados Brix; previamente calibrar el mismo, colocándolo en 0.00.
3. Determinación de pH: con el uso del potenciómetro, realizar la medición de pH; previamente calibrar el mismo, neutralizándolo y colocándolo entre 6.00 – 8.00.
4. Tabulación de resultados: ingresar los resultados para registro de cada una de las pruebas de elaboración.



Diagrama 5. Evaluación Sensorial
Elaboración propia (2017)

Descripción de evaluación sensorial:

1. Elaboración de boleta de evaluación: realizar la boleta tomando en cuenta que la prueba sensorial es afectiva discriminatoria-preferencia-pareada.
2. Preparación de muestras: elaborar las 200 muestras, de las cuales 100 son de la formulación 60:40 con harina de banano y 100 de 60:40 con harina comercial sin gluten. Codificar las muestras.
3. Montaje de puesto de evaluación: colocar de forma organizada las distintas muestras, el agua y las boletas; esto para evitar confusiones o manipulación al momento de realizar la evaluación.
4. Realización de evaluaciones sensoriales: proceder a realizar las evaluaciones de forma ordenada. A cada persona se le entrega: una muestra de la fórmula 60:40 de harina de banano verde, una muestra de la fórmula 60:40 de harina comercial sin gluten, un vaso con agua y una boleta de evaluación. Ambas formulaciones contienen las mismas proporciones de los ingredientes, variando solamente harina de banano por la harina sin gluten.
5. Tabulación de resultados: Ingresar los resultados obtenidos y contabilizarlos.
6. Determinación significancia de los resultados: en base a la tabla de significación para test pareados ($p=1/2$), determinar si el resultado obtenido demuestra si hay preferencia significativa.
7. Selección de muestra con mayor nivel de preferencia: luego del análisis de resultados, seleccionar la muestra a utilizar según preferencia del consumidor.

4.5 DISEÑO Y METODOLOGÍA ESTADÍSTICA

4.5.1 Diseño experimental

Se realizó un experimento comparativo para determinar la aceptación del alimento desarrollado por parte de los sujetos de estudio. Para la investigación se elaboraron dos formulaciones de espagueti en la que la formulación A se realizó con la harina de banano verde desarrollado y la formulación B con una harina comercial sin gluten.

Al realizar la evaluación sensorial se entregaban las muestras de forma aleatoria, ya que cada uno de los consumidores debía analizar ambas formulaciones.

Tabla 20: Experimentos, diseño experimental

<i>Experimento</i>	<i>Nombre</i>	<i>Descripción</i>	<i>Tratamiento</i>	<i>Repeticiones</i>
Experimento # 1	Análisis Sensorial	Al mercado consumidor se le realiza una evaluación sensorial comprobando dos distintas formulaciones para la elaboración de un espagueti como alternativa para las personas intolerantes al gluten.	Dos formulaciones producto final	Según tamaño de muestra evaluado. (100 jueces)

Elaboración propia (2017)

4.5.2 Descripción de unidades experimentales

La unidad experimental a la que fue expuesto el tratamiento del experimento fue a la muestra de sujetos, en este caso personas consumidoras de pasta, a quienes por medio de un análisis sensorial se evaluó la preferencia de los tratamientos.

4.5.3 Variable respuesta

En el análisis sensorial es la variable dependiente del experimento en donde se analiza el nivel de preferencia y aceptación de los tratamientos por parte de las unidades experimentales. Esta variable es cuantificable por medio de las boletas utilizadas para la evaluación sensorial, las cuales han sido determinadas por medio de una codificación numérica para la prueba de preferencia.

Tabla 21 Experimentos, variables de respuesta

<i>Experimento</i>	<i>Nombre</i>	<i>Variable de Respuesta</i>
Experimento # 1	Análisis Sensorial	Nivel de preferencia del espagueti sin gluten en la formulación.

Elaboración propia (2017)

4.5.4 Metodología de análisis

Este análisis se basa en el diagrama del proceso de estudio de investigación, el cual engloba los distintos experimentos que se realizaron.

La estadística Inferencial es el conjunto de métodos utilizados para saber “algo” acerca de una población basándose en una muestra. Por lo tanto, se utilizará este tipo

de estadística para determinar el número de muestras a realizar para validar los resultados obtenidos en las evaluaciones sensoriales a realizar.

Muestra se define como la parte representativa de la población y la población son todos los posibles individuos, objetos, mediciones y conteos. Por lo que para evaluar tanto el sabor como la aceptabilidad del espagueti se deberán de tomar una población de consumidores.

Según (Metodología afectiva y valor biológico del placer de comer), en estas pruebas se emplean grupos representativos de los consumidores potenciales o habituales del producto, quienes no tienen que conocer el porqué del estudio que se realiza, sino entender el procedimiento de la prueba y responder a ella. El número de evaluaciones a realizar que se recomienda emplear debe ser mayor de 80, generalmente entre 100 y 150, aunque mientras mayor cantidad se emplee se logra una mejor representatividad de la población. Pueden utilizarse de 25 a 30 jueces sólo si el resultado es a nivel de laboratorio.

Según el teorema del límite central el tamaño de una muestra es lo suficientemente grande, la distribución de las medias muestrales se puede aproximar por medio de una distribución normal, aun cuando la población original no esté distribuida de forma normal. Específicamente:

- Con $n > 30$ o $n \geq 30$, aun no siendo una distribución normal la población original, las medias muestrales se pueden aproximar a una distribución normal.
- Con $n \leq 30$ y la población original tiene una distribución normal, entonces las medias muestrales tienen una distribución normal.
- Si $n \leq 30$, pero la población original no tiene una distribución normal, no se aplica la distribución normal. (Walpole, Myers, & Myers, 2011)

4.5.4.1 Análisis estadístico de evaluación sensorial

CHI-CUADRADO

- Comparación pareada diferencia (una cola)

$$x^2 = \sum \frac{([o - e])^2}{e}$$

Ecuación (1.2)

- Comparación pareada preferencia (dos colas)

$$x^2 = \frac{([o - e])^2}{e}$$

Ecuación (1.3)

Donde:

o = observada

e = teórica

X² = Chi-Cuadrado

- Número de grados de libertad

$$gl = (r - 1)(k - 1)$$

Ecuación (1.4)

Donde:

r= número de filas

k = número de columnas

Se utilizará el análisis estadístico de Chi-Cuadrado ajustada para una prueba de preferencia pareada por lo que la hipótesis de trabajo será:

1. H₀ = No se percibieron o detectan preferencias significativas para las dos preparaciones, las preferencias observadas se pueden atribuir al azar.

2. H_1 = Las preparaciones de las muestras son diferentes, tienen distintos niveles de aceptación.

Si el valor de Chi-Cuadrado calculado es mayor que el valor de Chi-Cuadrado tabulado, rechazamos H_0 (hipótesis nula) y se dice que el panel detecta significativamente preferencia por una muestra a un porcentaje de significancia determinado según la comparación entre ambos valores.

Si, por el contrario, el valor de Chi-Cuadrado calculado es menor que el valor de Chi-Cuadrado tabulado, decimos que no hay evidencias suficientes para rechazar H_0 , o lo que es lo mismo, no se detectan preferencias significativas por alguna de las muestras y las preferencias observadas son fruto del azar. (Penna E. W., 2001)

Para el nivel de confianza se determinará según el tipo de investigación a realizar, para la cual la evaluación sensorial entra entre dentro del tipo de investigación de mercado, la cual establece que se deberá de utilizar un nivel de confianza del 95% y error esperado de 5%.

V. RESULTADOS

A. Definir el proceso óptimo para la deshidratación del banano verde, controlando la temperatura, tiempo y condiciones de proceso (pH, °Brix, solución de inmersión, grosor de corte).

La deshidratación se realizó en un horno en donde se mantiene una temperatura de $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ utilizando bandejas de acero inoxidable.

Al tener el banano en rebanadas, se busca una mejor transferencia de calor por lo que el tiempo de deshidratación se ve disminuido e incluso es un determinante en cuanto a la pérdida de humedad en el producto debido a la transferencia de calor que se da a través del alimento.

Tabla 22: Primera elaboración de proceso de deshidratación para obtención de harina a base de banano verde

<i>Bandeja No.</i>	<i>Peso inicial (g)</i>	<i>Peso Final (g)</i>	<i>Perdida de humedad total (g)</i>	<i>Porcentaje de humedad perdida (%)</i>	<i>Porcentaje de humedad en Harina (%)</i>
1	528	110	418	79.17	6.83%
2	556	114	442	79.50	6.50%
3	566	120	446	78.80	7.20%
4	642	142	500	77.88	8.12%
TOTAL	2292	486	1806	78.80	7.20%

Elaboración propia (2017)

Tabla 23: Proceso de deshidratación para obtención de harina a partir de banano verde en primera prueba

<i>No. De Prueba</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Temperatura</i>
1.	96 horas	65°C

Elaboración propia (2017)

Tabla 24: Segunda elaboración de proceso de deshidratación para obtención de harina a base de banano verde

<i>Bandeja No.</i>	<i>Peso inicial (g)</i>	<i>Peso Final (g)</i>	<i>Perdida de humedad total (g)</i>	<i>Porcentaje de humedad perdida (%)</i>	<i>Porcentaje de humedad en Harina (%)</i>
1	505	101	404	80.00	6.00%
2	560	109	451	80.54	5.46%
3	556	111	445	80.04	5.96%
4	590	111	479	81.19	4.81%
5	582	116	466	80.07	5.93%
6	692	137	555	80.20	5.80%
7	566	111	455	80.39	5.61%
8	243	48	195	80.25	5.75%
TOTAL	4294	844	3450	80.34	5.66%

Elaboración propia (2017)

Tabla 25: Proceso de deshidratación para obtención de harina a partir de banano verde en Segunda prueba

<i>No. De Prueba</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Temperatura</i>
2.	96 horas	60°C

Elaboración propia (2017)

Tabla 26: Tercera elaboración de proceso de deshidratación para obtención de harina a base de banano verde

<i>Bandeja No.</i>	<i>Peso inicial (g)</i>	<i>Peso Final (g)</i>	<i>Perdida de humedad total (g)</i>	<i>Porcentaje de humedad perdida (%)</i>	<i>Porcentaje de humedad en harina (%)</i>
1	312	65	247	79.17	6.83%
2	320	60	260	81.25	4.75%
3	170	33	137	80.59	5.41%
TOTAL	802	158	644	80.30	5.70%

Elaboración propia (2017)

Tabla 27: Proceso de deshidratación para obtención de harina a partir de banano verde

<i>No. De Prueba</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Temperatura</i>
3.	36 horas	60°C

Elaboración propia (2017)

Tabla 28: Cuarta elaboración de proceso de deshidratación para obtención de harina a base de banano verde

<i>Bandeja No.</i>	<i>Peso inicial (g)</i>	<i>Peso Final (g)</i>	<i>Perdida de humedad total (g)</i>	<i>Porcentaje de humedad perdida (%)</i>	<i>Porcentaje de humedad en harina (%)</i>
1	312	75	237	75.96	10.04%
2	182	37	145	79.67	6.33%
3	162	35	127	78.40	7.60%
4	288	60	238	82.64	3.36%
TOTAL	944	197	747	79.13	6.87%

Se realizó modificación donde se eliminó la cascara del banano.

Elaboración propia (2017)

Tabla 29: Proceso de deshidratación para obtención de harina a partir de banano verde

<i>No. De Prueba</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Temperatura</i>
4.	36 horas	60°C

Elaboración propia (2017)

Tabla 30: Quinta elaboración de proceso de deshidratación para obtención de harina a base de banano verde

<i>Bandeja No.</i>	<i>Peso inicial (g)</i>	<i>Peso Final (g)</i>	<i>Perdida de humedad total (g)</i>	<i>Porcentaje de humedad perdida (%)</i>	<i>Porcentaje de humedad en harina (%)</i>
1	420	99	321	76.43	2.57%
2*	420	102	318	75.71	3.29%
3*	420	100	320	76.19	2.81%
4*	420	101	319	75.95	3.05%
5	420	100	320	76.19	2.81%
6	420	98	322	76.67	2.33%
7	420	100	320	76.19	2.81%
8	420	99	321	76.43	2.57%
9	420	95	325	77.38	1.62%
10**	420	98	322	76.67	2.33%
11**	420	96	324	77.14	1.86%
12**	420	95	325	77.38	1.62%
TOTAL	5040	1183	3857	76.53	2.47%

(*) Bandejas perforadas

(**) Bandejas plásticas

Elaboración propia (2017)

Tabla 31: Proceso de deshidratación para obtención de harina a partir de banano verde

<i>No. De Prueba</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Temperatura</i>
5.	36 horas	60°C

Elaboración propia (2017)

Tabla 32: Sexta elaboración de proceso de deshidratación para obtención de harina a base de banano verde

<i>Bandeja No.</i>	<i>Peso inicial (g)</i>	<i>Peso Final (g)</i>	<i>Perdida de humedad total (g)</i>	<i>Porcentaje de humedad perdida (%)</i>	<i>Porcentaje de humedad en harina (%)</i>
1	300	82	218	72.67	6.33%
2*	300	80	220	73.33	5.67%
3*	300	84	216	72.00	7.00%
4*	300	82	218	72.67	6.33%
5	300	82	218	72.67	6.33%
6	300	86	214	71.33	7.67%
7	300	84	216	72.00	7.00%
8	300	82	218	72.67	6.33%
9	300	84	216	72.00	7.00%
10	300	82	218	72.67	6.33%
11	300	84	216	72.00	7.00%
12	300	66	234	78.00	1.00%
TOTAL	3600	978	2622	72.31	6.17%

Elaboración propia (2017)

Tabla 33: Proceso de deshidratación para obtención de harina a partir de banano verde

<i>No. De Prueba</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Temperatura</i>
6.	36 horas	60°C

Elaboración propia (2017)

Tabla 34: Determinación de madurez del banano por medición de grados brix en la tercer prueba realizada

<i>No. De Prueba</i>	<i>No. De muestra</i>	<i>Grados Brix (°Brix)</i>
3.	1	3.9
	2	4
	3	3.8
	4	4
	5	3.9
	6	4
	7	3.7
	8	3.8
	9	3.9
PROMEDIO		3.9

Elaboración propia (2017)

Tabla 35: Determinación de madurez del banano por medición de grados brix en la cuarta prueba realizada

<i>No. De Prueba</i>	<i>No. De muestra</i>	<i>Grados Brix (°Brix)</i>
4.	1	3.8
	2	3.8
	3	3.9
	4	3.6
	5	3.4
	6	3.5
	7	3.5
	8	3.6
	9	3.5
	10	3.4
PROMEDIO		3.6

Fuente: Propia (Gabriela Gonzáles)

Tabla 36: Determinación de madurez del banano por medición de grados brix en la quinta prueba realizada

<i>No. De Prueba</i>	<i>No. De muestra</i>	<i>Grados Brix (°Brix)</i>
5.	1	3.5
	2	3.5
	3	3.5
	4	3.6
	5	3.5
	6	3.5
	7	3.4
	8	3.6
	9	3.5
	10	3.4
	11	3.3
	12	3.5
	13	3.6
	14	3.5
	15	3.7
	16	3.3
	17	3.5
	18	3.6
PROMEDIO		3.5

Fuente: Propia (Gabriela Gonzáles)

Tabla 37: Determinación de madurez del banano por medición de grados brix en la sexta prueba realizada

<i>No. De Prueba</i>	<i>No. De muestra</i>	<i>Grados Brix (°Brix)</i>
6.	1	3.5
	2	3.1
	3	3.3
	4	3.3
	5	3.6
	6	3.2
	7	3.6
	8	3.5
	9	3.3
	10	3.6
	11	3.5
	12	3.3
PROMEDIO		3.4

Elaboración propia (2017)

Tabla 38: pH de solución ácida para la inmersión de las rodajas de banano verde

<i>No. De Prueba</i>	<i>pH inicial</i>
1.	3.86
2.	3.16
3.	3.03
4.	3.06
5.	3.06
6	3.04

Elaboración propia (2017)

Tabla 39: Resultado de humedad en la harina de banano

<i>No. De Prueba</i>	<i>Porcentaje de Humedad (%)</i>
6.	4.56

Elaboración propia (2017)

Tabla 40: Resultado de cenizas en la harina de banano

<i>No. De Prueba</i>	<i>Porcentaje de Cenizas (%)</i>
6.	2.29

Elaboración propia (2017)

Tabla 41: Resultado de proteínas en la harina de banano

<i>No. De Prueba</i>	<i>Porcentaje de Proteínas (%)</i>
6.	5.11

Elaboración propia (2017)

Tabla 42: Granulometría de harina de banano verde en quinta prueba realizada.

<i>No. De tamiz</i>	<i>Porcentaje de retención (%)</i>
10	0
20	0
40	0
60	5.5

Elaboración propia (2017)

Tabla 43: Granulometría de harina de banano verde en sexta prueba realizada.

<i>No. De tamiz</i>	<i>Porcentaje de retención (%)</i>
10	0
20	0
40	0
60	4

Elaboración propia (2017)

Tabla 44: Resultados de criterios microbiológicos en harina de banano verde.

<i>Parámetro</i>	<i>Práctico</i>	<i>Límite Teórico</i>	
	<i>UFC/g</i>	<i>Mínimo UFC/g</i>	<i>Máximo UFC/g</i>
Recuento de mohos	10		
Recuento de levaduras	50	10	10 ³

Elaboración propia (2017)

A. Obtener el rendimiento porcentual de la elaboración de harina a base de banano verde.

Tabla 45: Rendimiento porcentual de obtención de harina a base de banano verde.

<i>No. De Prueba</i>	<i>Rendimiento del proceso (%)</i>
1.	19.46
2.	18.09
3.	16.32
4.	7.73
5.	13.34
6.	15.48

Elaboración propia (2017)

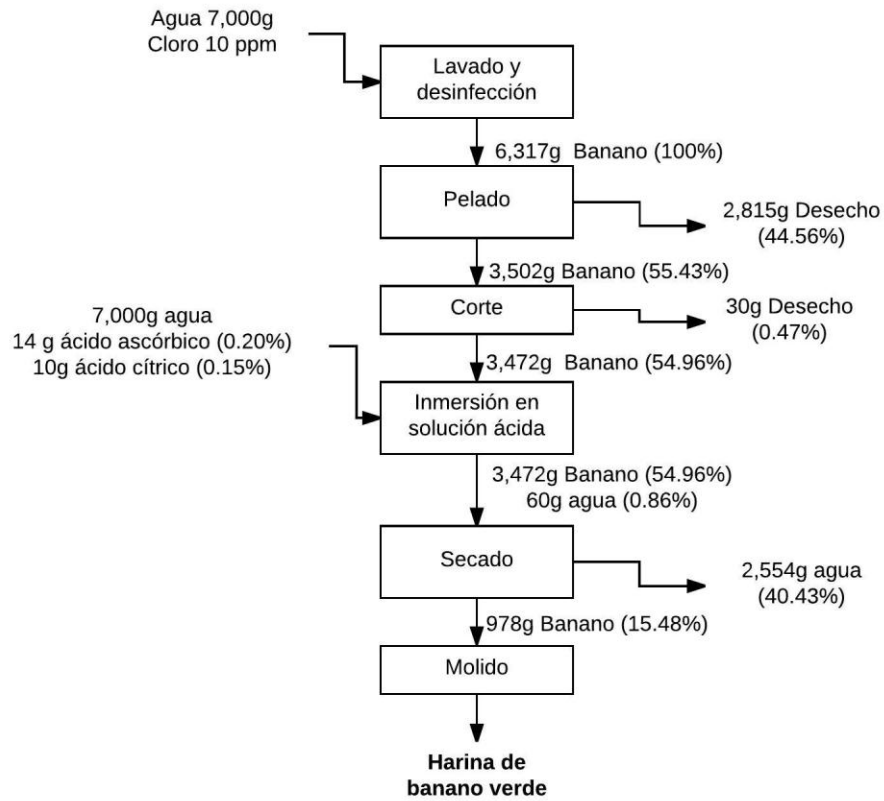


Diagrama 4: Balance de masa para la elaboración de harina de banano
Elaboración propia (2017)

B. Evaluar diferentes mezclas de harina de banano verde con harina de yuca en distintas proporciones (50:50, 55:45, 60:40) para obtener el mejor producto de pasta.

Tabla 46: Formulación de pasta tipo espagueti en proporción 50:50 (base seca) con harina de maíz nixtamalizada.

<i>Producto</i>	<i>Cantidad (g)</i>	<i>Porcentaje (%)</i>
Harina de Banano	250	23.23
Espinaca	240	22.30
Harina de Maíz (Maseca)	150	13.94
Fécula de Maíz	180	16.73
Huevos	140	13.01
Sal	2	0.19
Agua	114	10.59
TOTAL	1076	100

Elaboración propia (2017)

Tabla 47: Formulación de pasta tipo espagueti en proporción 60:40 (base seca) con harina de arroz.

<i>Producto</i>	<i>Cantidad (g)</i>	<i>Porcentaje (%)</i>
Harina de Banano	300	37.59
Harina de Arroz	200	25.06
Espinaca	150	18.80
Huevo	140	17.54
Sal	8	1.00
TOTAL	789	100

Elaboración propia (2017)

Tabla 48: Formulación de pasta tipo espagueti en proporción 55:45 (base seca) con harina de arroz.

<i>Producto</i>	<i>Cantidad (g)</i>	<i>Porcentaje (%)</i>
Harina de Banano	300	35.29
Harina de Arroz	250	29.41
Espinaca	150	17.65
Huevo	140	16.47
Sal	8	0.94
Goma Xantan	2	0.24
TOTAL	850	100

Elaboración propia (2017)

Tabla 49: Formulación de pasta tipo espagueti en proporción 60:40 (base seca) con harina de yuca.

<i>Producto</i>	<i>Cantidad (g)</i>	<i>Porcentaje (%)</i>
Harina de Banano	1634.4	35
Harina de Yuca	1089.6	24
Agua	614.76	13
Espinaca	572.04	12
Sal	476.7	10
Huevo	240.33	5
TOTAL	4,627.84	100

Elaboración propia (2017)

Tabla 50: Rendimiento de pasta según proceso de elaboración de espagueti en proporción 60:40 (base seca) con harina de yuca.

<i>Proceso</i>	<i>Cantidad (g)</i>	<i>Porcentaje de Rendimiento (%)</i>
Mezclado	4,627.84	
Extrusión	3,897.85	62.38
Secado	2,887.30	

Elaboración propia (2017)

Tabla 51: Merma en proceso de elaboración de espagueti en proporción 60:40 (base seca) con harina de yuca.

<i>Merma</i>	<i>Cantidad (g)</i>	<i>Porcentaje de Merma (%)</i>
Merma de equipo	213.83	4.62
Merma de Proceso	288.73	7.00

Elaboración propia (2017)

Tabla 52: Proceso de secado en la elaboración de espagueti en proporción 60:40 (base seca) con harina de yuca.

<i>Proceso</i>	<i>Cantidad (g)</i>	<i>Porcentaje pérdida de humedad (%)</i>
Producto después de extrusión	3,897.85	26.00
Producto terminado	2,887.30	

Elaboración propia (2017)

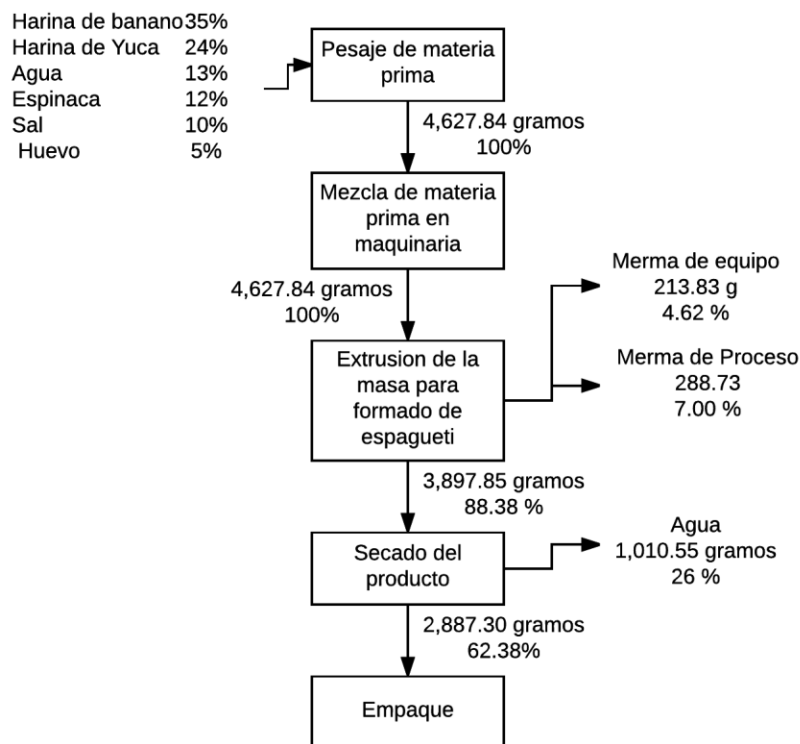


Diagrama 5: Balance de masa para la elaboración de pasta tipo espagueti
Elaboración propia (2017)

Tabla 53: Resultados de criterios microbiológicos en pasta tipo espagueti a partir de harina de banano verde y harina de yuca.

<i>Parámetro</i>	<i>Práctico UFC/g</i>	<i>Límite máximo permitido UFC/g</i>
E. Coli	Ausencia	Ausencia
Staphylococcus aureus	< 10	10 ²
Salmonella ssp/25g	Ausencia	Ausencia

Elaboración propia (2017)

C. Evaluar la aceptación sensorial de las pastas elaboradas a partir de la harina a base de banano verde.

Tabla 54: Resultados análisis sensorial

<i>Muestra</i>	<i>Códigos</i>	<i>Cantidad</i>
Espagueti con harina de banano verde	308 726	47
Espagueti con harina sin gluten comercial	188 215	52
Total		99

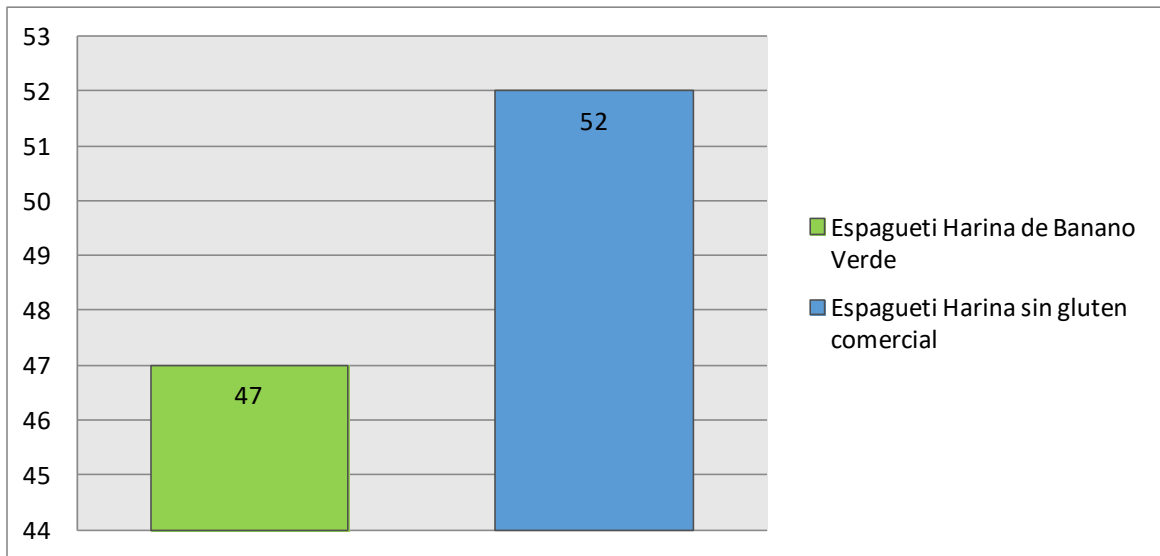
Elaboración propia (2017)

Tabla 55: Datos de Chi-Cuadrada para comparación de valores.

		<i>Prueba Pareada</i>
n	Número de panelistas	100
O1	# observado de elecciones correctas	47
O2	# observado de elecciones incorrectas	52
E1	# esperado de elecciones correctas (np):	50
p	Prueba Pareada: 0.500	
E2	# esperado de elecciones incorrectas (nq):	50
q	Prueba Pareada: 0.500	
	χ^2	0.24
	Grados de libertad	1
	Chi para 1 grado de libertad y 5% de significancia (p=0.05)	3.84

Elaboración propia (2017)

Gráfica 9: Muestra de resultados de preferencia



Elaboración propia (2017)

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El estudio tenía como objetivo principal elaborar una harina a base de banano verde para formular pastas como una opción de alimento para las personas celiacas (intolerantes al gluten). La harina de banano obtenida se mezcló con harina de otros productos que por origen no contengan gluten, hasta lograr una porción idónea para la obtención del producto final.

Se realizaron 5 pruebas experimentales con la finalidad de determinar los parámetros idóneos para el proceso de secado. El objetivo fue el cumplir con los requisitos fisicoquímicos establecidos de referencia, que en este caso fueron los parámetros para harinas de trigo, como en los parámetros sensoriales según el RTCA 67.01.15:07 Harinas. Harina de Trigo Fortificada. Especificaciones, que, por motivos de no existir una referencia específica para harina de banano verde, se utilizó de comparación, y en el cuál se establece como valor máximo de humedad un 15.5% m/m.

La elaboración de harina de banano se llevó a cabo en un horno el cual consiste en una cámara con una resistencia eléctrica, esta última está ubicada de forma paralela sobre la superficie de las bandejas.

Las condiciones óptimas para el proceso de deshidratación de las rebanadas de banano se determinaron realizando en total 5 pruebas, durante las cuales se lograron establecer las condiciones del proceso, se fueron modificando hasta obtener el óptimo de deshidratación con dicho equipo, cumpliendo con los parámetros de inocuidad, el uso correcto de los equipos y materiales para la elaboración de la harina.

Durante el proceso de deshidratado, se determinaron varios parámetros que afectaron la eficiencia del secado:

- El horno es semi industrial, ubicado en la planta Piloto de la Universidad Rafael Landívar, al ser un área de uso común de estudiantes, no se puede asegurar que el horno permaneció cerrado el total del tiempo de deshidratado, ya que no hay una forma de bloqueo de las puertas, lo que implica una pérdida de calor e ingreso de humedad del ambiente cada vez que la puerta fuera abierta.
- Variación de la temperatura de secado: se programó el horno para que las resistencias del mismo se mantuvieran en una temperatura objetivo de 60°C, debido al tipo de horno, el rango de operación estuvo oscilando en 60° C con una incerteza de ± 5 °C.

En la elaboración de la harina se dejaron constantes las siguientes condiciones: el tipo de horno utilizado y las bandejas de secado siendo estas de acero inoxidable, teniendo 9 bandejas, 3 de ellas perforadas y 6 sólidas.

Se describen a continuación de forma detallada cada una de las variaciones estudiadas en las pruebas experimentales:

- Primer Prueba: esta consistió en el uso del banano verde sin ser pelado, para obtener un mayor rendimiento en peso, en cuanto a factores nutricionales aprovechar el contenido de proteína y fibra que está posee.

Un factor crítico, fue la selección del banano verde, el cual debe encontrarse en su segunda semana de maduración, se trabajó sólo con bananos que posean el color verde característico y sin daños por mal manejo. Los bananos deben pasar por una limpieza y desinfección para asegurar la inocuidad del producto terminado, para esto último se utilizó una concentración de 10 ppm de Hipoclorito de sodio grado alimenticio, seguido de un enjuague para retirar del producto trazas del químico.

Es importante señalar que la composición química del banano se caracteriza por la presencia de almidones y escasez de ácidos, esto lo hace un producto extremadamente sensible al oscurecimiento, que se da al realizar un corte en los tejidos. El objetivo de utilizar una solución ácida para inmersión de las rodajas, es inhibir la enzima polifenol oxidasa que posee el banano, causante de la reacción de pardeamiento enzimático. A pesar de la disminución del pH, la inhibición de la enzima solo se logra retardar, debido a que con esta solución de inmersión no se alcanza un pH de 3.00 en el cual dicha enzima detiene su reacción. La razón por la que no se logró obtener un pH inferior a 3.0 fue debido a la concentración de ácido adicionado para la solución.

Posteriormente en proceso, se procede a realizar el corte y despunte del banano en donde se hacen rodajas con corte manual, sin un grosor específico. Las rodajas son colocadas en una solución de ácido cítrico (1660 ppm) alcanzado un pH 3.86, las rodajas se dejan en inmersión por un tiempo aproximado de 10 minutos, esto para evitar el pardeamiento enzimático del fruto. El tiempo fue establecido según se explica en la guía para la elaboración de harina de plátano en donde (Montenegro, 2015) explica las condiciones a controlar en el proceso, sin embargo, se aplica una menor cantidad de ácidos y de tiempo debido a la cantidad de banano a exponer en la solución ácida por lo que se redujeron 5 minutos según lo que se indica en la referencia. Según (Carvajal Maridueña & Martínez Jara, 2000), en el diseño experimental para el control del pardeamiento del banano se realizaron pruebas con ácido cítrico, ascórbico y metabisulfito en concentración de 0.50 y 1.00 % con la variación de tiempo de 5 y 10 minutos. Basado en los resultados se consideró el uso de ácido cítrico y ácido ascórbico ya que se obtuvo una respuesta experimental del 60.27 y 57.52 respectivamente.

El siguiente paso fue colocar las rodajas de banano en bandejas de acero inoxidable, en donde se distribuyó de forma en que el producto estuviera en contacto con la bandeja, para incrementar la transferencia de calor y acelerar la deshidratación. Después de 96 horas a 65°C, se retiraron las bandejas con las rodajas de banano

deshidratado para pesarlo y determinar la pérdida de humedad alcanzada. Debido al tiempo de exposición del secado, se mantuvo una temperatura debajo de 70 °C, pero sobre la temperatura de peligro debido a los microorganismos en los alimentos. En la Tabla 22 se reporta el porcentaje de humedad que se tuvo durante el proceso, en promedio un 7.20% de humedad residual. El grosor de rodaja, el área superficial y distribución de las rodajas en las bandejas, son factores que determinan directamente el tiempo de secado.

Al ser un alimento poroso, la mayor parte del agua que contiene en su interior se evapora. El calor de evaporación se transfiere a través del sólido hasta la zona de vaporización provocando que el agua evaporada atraviese el sólido, para llegar hasta la corriente de aire (superficie).

En la molienda, se colocó dentro de un molino en donde por medio de discos se realiza la reducción de tamaño a las partículas, buscando una granulometría de 60 mesh (0.250mm). Como resultado, la harina que se obtuvo posee un color café con partículas negras debido a que la cascara tiende a perder su color y tornarse a un color oscuro lo cual da un color no uniforme. Esta reacción se debe a la ruptura celular que desencadena el comienzo del proceso: las polifenol oxidasas provocan la oxidación de unos compuestos incoloros llamados polifenoles (el sustrato), para transformarlos en otros llamados quinonas (el producto). Las quinonas, que son incoloras, pueden reaccionar con ciertas sustancias para dar lugar a otros compuestos coloreados. Finalmente, las quinonas se reagrupan, sufren otra oxidación y se transforman en un compuesto de color pardo llamado melanina. En la Imagen 2 página 23, se muestran los cambios que sufre la cascara al momento de sufrir oxidación que en este caso es debido a la temperatura aplicada.

El rendimiento de la obtención de la harina de banano fue de 19.46% como se muestra en la Tabla 45. Es decir, de 2 kg de banano se obtuvo 0.3892 kg de producto terminado de harina a partir de banano verde, con una humedad de 7.20%, que no la hace viable para almacenamiento prolongado.

Se concluyó que los procedimientos que no tendrían variación para la segunda prueba fueron el uso de bananos verdes sin pelar aprovechando la cáscara para el rendimiento del proceso, así mismo se mantuvo el tiempo y la temperatura en la que se deshidrataron las rodajas de banano (96 horas a 65 °C).

Segunda Prueba: en el proceso de corte, se estandarizó el tamaño realizando rodajas de 2- 3 mm para reducir el tiempo de secado al ser más efectiva la transferencia de calor hacia el centro geométrico del alimento. El grosor de rebanado y área superficial influye en cuanto a mayor tamaño de área expuesta, la humedad retenida en el interior fluye a través de una porción menor del sólido teniendo así menor posibilidad de quedar atrapada en las porosidades que posee el banano. De igual forma, las bandejas al ser perforadas, facilitan el flujo de aire en el sistema lo cual reduce el tiempo de secado.

Se realizó la modificación en el proceso de inmersión de ácido cítrico (280 ppm) al adicionarle ácido ascórbico (2570 ppm), El acidulante (ácido cítrico) es aplicado generalmente para mantener el pH por debajo del punto óptimo de actividad catalítica de la enzima y puede inhibir el efecto de la polifenol oxidasa. El ácido ascórbico previene el pardeamiento y otras reacciones oxidativas en el banano; además, es considerado como un buen secuestrante (atrapa) de oxígeno que permite la remoción del oxígeno molecular en las reacciones de la polifenol oxidasa. Es muy usado el ácido cítrico en conjunto con el ácido ascórbico para mantener el nivel del pH en el medio. En la inmersión se alcanzó un pH de 3.16 aun siendo mayor al que se busca para la total inactivación de la enzima polifenol oxidasa.

El tiempo de inmersión fue definido por una prueba en la cual se sometieron varias muestras de banano en una solución con misma concentración de ácidos en donde después de distintos tiempos (10, 15 y 20 minutos) se retiró el banano para posteriormente ser sometidos a una prueba de tiempo para determinar cuál era el banano que permanecía más tiempo sin sufrir de oxidación. A partir de esta prueba se

descartó el tiempo de 20 minutos al brindarle al banano un sabor alterno y el tiempo de 10 segundos debido a que en un lapso de 45 minutos comienza a sufrir cambios de color, mientras que, al exponerlos durante 15 minutos, se garantizó un tiempo de 60 minutos sin ninguna alteración de color o sabor.

En el proceso de deshidratación del banano fue colocado en bandejas de acero inoxidable de manera que las rodajas de banano tuvieran el mínimo contacto con ellas mismas y estar mejor distribuidas en la bandeja. Después de 96 horas a 60°C, se retiran las bandejas con el banano deshidratado para pesarlo y determinar la pérdida de humedad que ha tenido el producto. En la Tabla 24, se observa que el porcentaje de humedad según la pérdida de agua que se tuvo durante el proceso, es del 5.66% lo cual se mantiene en un rango de humedad inferior a la que una harina de trigo (15.5%), dato comparado con el RTCA utilizado de referencia. En el proceso se logró la disminución de humedad en comparación a la primera prueba (7.20 %).

Como resultado, la harina que se obtuvo posee un color café con partículas negras debido a que la cascara tiende a perder su color y tornarse un color oscuro lo cual da un color no uniforme.

El rendimiento de la obtención de harina a partir del banano verde fue de 18.09%. En esta segunda prueba el rendimiento ha sido menor comparado con el resultado de la Primer Prueba lo cual pudo haber sido afectado por factores externos a la prueba como lo es el no tener control del horno para evitar la apertura del mismo durante su tiempo de secado (96 horas).

En esta segunda prueba se obtuvo una mejora en cuanto a la inhibición del pardeamiento y al estandarizar el proceso de secado, manteniendo un corte de rodaja entre 2 – 3mm de grosor. De esta forma se disminuyó el porcentaje de humedad en la harina, por lo tanto, para la tercera prueba se estandarizó el procedimiento de corte en rodaja y se definió modificar la concentración de aditivos para alcanzar un menor pH en

la solución de inmersión la cual se mantuvo para posteriores pruebas como lo es el tiempo de inmersión (15 minutos).

- Tercera Prueba: se implementó el uso de una herramienta cualitativa para la selección del banano, a partir de la tabla de colores propuesta por Dominico Hartón como se muestra en la Tabla 11. Se tomó una muestra de 9 bananos de un total de 45 (20% de muestra), seleccionados de acuerdo a la tabla de color antes mencionada, además se midieron los sólidos solubles con un promedio de 3.9 °Brix. Estos bananos se encontraban dentro del rango de madurez 2 mostrado en la Gráfica 3. Dejando fijas mencionadas en la conclusión de la Segunda Prueba.

Se trabajó con el proceso de inmersión durante un tiempo de 15 minutos en ácido cítrico (1140 ppm) y ácido ascórbico (1710 ppm), con esto se alcanzó un pH de 3.03 en donde la inhibición de la enzima se da debido a la acidificación que hace que la actividad catalítica decrezca. Mientras que se reporta un pH óptimo para polifenol oxidasa que fluctúa entre ácido y neutral, en la mayoría de frutas y vegetales la actividad de polifenol oxidasa óptima se observa a un pH de 6.0-6.5; se puede detectar poca actividad por debajo de un pH de 4.5. La inactivación de forma irreversible de la polifenol oxidasa se logra al alcanzar un pH menor a 3.0, según (Richardson & Hyslop, 1985). Se buscó el estar lo más cercano posible a este parámetro y así lograr la inactivación de la enzima y tener un mejor resultado en las propiedades organolépticas como lo es el color.

De igual forma como en las pruebas 1 y 2, la harina que se obtuvo posee un color café con partículas negras debido a que la cascara tiende a perder su color. En esta Tercer Prueba, comparando con las dos anteriores, se obtuvo una harina con un color más pálido ya que al ser menor el tiempo de deshidratado, se logra mantener los azúcares presentes del banano sin la reacción de caramelización.

Después de 36 horas a 60°C, se retiran las bandejas con el banano verde deshidratado. En la Tabla 26, se observa que el porcentaje de humedad según la pérdida de agua que se tuvo durante el proceso, es del 5.70% lo cual se mantiene en un rango de humedad inferior al parámetro establecido como máximo de una harina de trigo (15.5%) como tal, pero en el proceso se logró la disminución de humedad en comparación a la primera prueba. El rendimiento está en función de la humedad y por ende del peso, siendo factores directamente proporcionales, el rendimiento se ve afectado al alcanzar un mayor desligue de agua en el banano. El rendimiento de la harina de banano verde fue de 16.32% como se muestra en la Tabla 45.

Al concluir esta Tercera Prueba se establece que la concentración de los aditivos (ácido cítrico y ácido ascórbico) es funcional para alcanzar el pH óptimo de inhibición por lo que esta variable se mantiene para las pruebas posteriores. De igual forma, la temperatura y el tiempo de deshidratación (36 horas a 60 °C) se mantendrán como fijas en el proceso, ya que son determinantes en la disminución de la humedad en la harina.

- Cuarta Prueba: utilizando los resultados de las tres pruebas anteriores, y por las características organolépticas deseadas (color, homogeneidad, sabor, etc.) en el producto final, se optó por eliminar la cascara del banano, previo a deshidratarlo. En el proceso de selección del banano, visualmente se realizó una separación de banano según el color verde a partir de la tabla de colores propuesta por Dominico Hartón como se muestra en la Tabla 11. Se tomó una muestra de 10 bananos de 52 seleccionados siendo una porción del 20% en donde en promedio se obtuvo 3.6 °Brix los cuales se encuentran dentro del rango de madurez 2 mostrado en la Gráfica 3. Se realizó el proceso de inmersión durante un tiempo de 15 minutos en ácido cítrico (1140 ppm) y ácido ascórbico (1710 ppm), se alcanzó un pH de 3.06.

Se aplicó un proceso de secado por un tiempo de 36 horas a 60°C. En la Tabla 28, se observa que el porcentaje de humedad según la pérdida de agua que se tuvo

durante el proceso, es del 6.87%. Esto pudo haber sido causado debido al proceso de inmersión en el cual se expone el alimento a humedad, lo cual hace considerablemente mayor la cantidad de agua a retirar del banano.

Como resultado, la harina que se obtuvo posee un color café claro homogéneo sin presencia de partículas de color distinto. El rendimiento de la obtención de la harina de banano fue de 7.73% como se muestra en la Tabla 45. En esta prueba el rendimiento sufrió una baja esto debido al procedimiento de pelado que fue sometido el banano eliminando la cascara que representa 3/8 del peso total del banano debido a su cantidad de agua disponible.

A partir de la cuarta prueba se mantuvieron las modificaciones establecidas para el desarrollo de las pruebas posteriores de forma que se mantendrá el procedimiento de selección del banano verde a partir de la tabla de colores propuesta por Dominico Hartón como se muestra en la Tabla 11, procedimiento de corte y pelado del banano, la concentración de aditivos (ácido ascórbico y ácido cítrico) para mantener el pH de la solución de inmersión y el tiempo y temperatura de secado (36 horas a 60°C).

- Quinta Prueba: se estandarizó el proceso de elaboración de harina a partir de banano verde, manteniendo las variables antes mencionadas. En esta prueba se tomó una muestra de 18 bananos de 89 seleccionados siendo una porción del 20% en donde en promedio se obtuvo 3.5 °Brix los cuales se encuentran dentro del rango de madurez 2 mostrado en la Gráfica 3. Se continuó con el proceso de inmersión durante un tiempo de 15 minutos en ácido cítrico (1140 ppm) y ácido ascórbico (1710 ppm), se alcanzó un pH de 3.06.

En el proceso de secado, el banano se colocó dentro de un horno por 36 horas a 60°C. En la Tabla 30, se observa que el porcentaje de humedad según la pérdida de agua que se tuvo durante el proceso, es del 2.47%. Al haber realizado la variación de uso de banano verde sin cascara, el parámetro de humedad inicial se modifica a 79%

mientras que el de un banano verde sin pelar su humedad es del 86%. Se estandarizó el peso colocado en cada una de las bandejas un peso de 420g de producto de forma que el proceso fuera optimizado y fuera posible el controlar la producción total sin mayor inconveniente.

Como resultado, la harina que se obtuvo posee un color café claro homogéneo sin presencia de partículas de color distinto. El porcentaje de humedad en el producto de la harina es un factor determinante en el resultado de cálculo del rendimiento siendo del 13.34% como se muestra en la Tabla 45.

La finalidad del proceso de molienda es reducir el tamaño de partícula hasta obtener un diámetro aproximado de 60 mesh, utilizando para tal fin un molino de discos. Los análisis de granulometría realizado a la harina obtenida con juegos de tamices de 10, 20, 40 y 60 mesh, se obtuvo que una retención de 5.5% de las partículas de harina en el tamiz de 60 mesh (0.250mm), lo que significa que está dentro del rango establecido para las harinas.

En esta quinta prueba se concluyó que el realizar una estandarización de peso en las bandejas de secado, ayuda a mantener un proceso de mejor orden por lo que para las siguientes pruebas se utilizó este procedimiento y se modificó el realizar un escurrido de producto para evitar la alteración en la humedad de la harina al tener un mayor peso inicial al momento de realizar la deshidratación del banano. El proceso de selección de banano se establece como un procedimiento el cual se deberá aplicar a las siguientes elaboraciones de la harina al obtener un buen resultado en cuanto a la medición de grados °Brix y como estandarización de materia prima.

- Sexta Prueba: se tomó una muestra de 12 bananos de 60 seleccionados siendo una porción del 20% en donde en promedio se obtuvo 3.4 °Brix los cuales se encuentran dentro del rango de madurez 2 mostrado en la Gráfica 3. Se continuó con el proceso de inmersión durante un tiempo de 15 minutos en ácido cítrico (1140 ppm) y ácido ascórbico (1710 ppm), se alcanzó un pH

de 3.04. El grosor de las rodajas de banano se garantiza por el uso de un cortador industrial en donde se establece un grosor de rebanada de 3mm lo cual estandariza las dimensiones del producto a deshidratar.

En el proceso de deshidratación, el banano se colocó dentro de un horno por 36 horas a 60°C. En la Elaboración propia (2017)

Tabla 32 se observa que el porcentaje de humedad según la pérdida de agua que se tuvo durante el proceso, es del 6.17%. Se estandarizó el peso colocado en cada una de las bandejas un peso de 300g de producto de forma que el proceso fuera optimizado y fuera posible el controlar la producción total sin inconvenientes.

Como resultado, la harina de banano verde que se obtuvo posee un color café claro homogéneo sin presencia de partículas de color distinto. El rendimiento de la obtención de la harina de banano fue de 15.48% como se muestra en la Tabla 45. Es decir, de 6.317 kg de banano verde se obtuvo 0.9778 kg de producto terminado de harina a partir de banano verde.

La finalidad del proceso de molienda es reducir el tamaño de partícula hasta obtener un diámetro aproximado de 60 mesh, utilizando para tal fin un molino de discos. Los análisis de granulometría realizado a la harina obtenida con juegos de tamices de 10, 20, 40 y 60 mesh, se obtuvo una retención del 4.00% de las partículas en tamiz de 60 mesh, lo que significa que está dentro del rango establecido para las harinas de trigo.

Al finalizar el proceso de obtención de harina a partir del banano verde, se realizaron análisis en el laboratorio de control de calidad "CONCALIDAD", de los cuales se obtuvieron los resultados de análisis fisicoquímicos dando como resultado una humedad de 4.56 % en la harina de banano verde siendo este un valor que se encuentra debajo del requisito máximo comparado con el criterio establecido en el RTCA para harinas de trigo, 2.29 % en cenizas siendo mayor al límite máximo debido a la cantidad de minerales que el banano posee y 5.11 % de contenido de proteínas

teniendo un bajo contenido comparado con el porcentaje mínimo de proteínas en una harina de la variedad de trigo al no ser una fuente de proteínas el banano según su naturaleza.

Como parte de los requisitos establecidos en el RTCA para harina de trigo, se realizaron análisis de criterios microbiológicos en donde según la Tabla 59 se muestran los límites máximos y mínimos de los parámetros de moho y levaduras. Se obtuvieron resultados que se encuentran dentro de estos límites siendo 10 UFC/g y 50 UFC/g en mohos y levaduras respectivamente.

En cuanto a los niveles máximos de gluten permitidos para clasificar un alimento como libre de gluten, la Norma Codex sobre Alimentos Exentos de Gluten (CODEX STAN 118-1981), propone que los productos elaborados a partir de ingredientes que no contienen gluten no superen las 20ppm de gluten. Por lo que se realizó un análisis de gluten en un molino en donde la muestra es colocada en un equipo específico para la determinación de contenido de gluten (Glutematic) y se obtuvo un resultado de 0% como se muestra en el Anexo 12.3.1 Análisis de gluten en harina de banano verde. Con este análisis se valida el producto para personas que sufren de intolerancia al gluten por lo que es apto para su consumo de dichas personas.

A partir de esta última producción de harina de banano verde se realiza el producto de pasta tipo espagueti para la evaluación sensorial y a partir de esta misma harina, se realizaron los análisis microbiológicos del producto terminado de pasta.

FORMULACIÓN DE PASTA A PARTIR DE HARINA DE BANANO VERDE

El objetivo se basó en evaluar diferentes mezclas de harina de banano verde con harina de otros productos que por origen no contengan gluten en distintas proporciones (50:50, 55:45, 60:40), para obtener el mejor producto de pasta, para motivos de este estudio de desarrollo se definió trabajar la pasta tipo espagueti debido al proceso de producción ya que la extrusión aplicada fue fundamental para la

consistencia de la pasta. Se realizaron distintas formulaciones en donde se varió el tipo de harina sin gluten (maíz, arroz y yuca) y las proporciones de aplicaciones de la harina de banano verde las cuales se describen a continuación:

En la primera formulación realizada se trabajó con una mezcla en proporción 50:50 en base seca de harina de banano verde y harina de maíz nixtamalizada. Esta harina fue seleccionada por su alto consumo y aceptación en Guatemala, precio y principalmente por no contener gluten, debido a su origen. La harina de maíz le brindó a la mezcla una mejor consistencia debido a que en su proceso de nixtamalización se da una gelatinización de almidón que actúan de una forma reológica similar como lo es el gluten en una harina de trigo. Debido a la falta de adhesión en la masa, se utilizó fécula de maíz ya que tiene la propiedad de ligar los componentes de la formulación y proporciona la consistencia necesaria para pasar por el proceso de formación de pasta.

El uso de huevos, en la formulación aportó también consistencia a la pasta ya que brinda estructura al utilizarse como aglutinante que permite que se ligen los ingredientes sólidos con los líquidos. La yema de huevo (lecitina) proporciona sabor y color.

En esta prueba, el producto tuvo un resultado no deseado en cuanto a consistencia ya que no se logró la formación de la pasta, en este caso se trata de espagueti y la harina de maíz predominaba en el sabor de la pasta.

En esta prueba se concluyó que el uso de la harina de maíz aporta propiedades organolépticas a la pasta como lo es el olor y el sabor debido a su popularidad en el país, pueda causar una inclinación hacia este producto enmascarando el sabor brindado por la harina de banano verde. Por consiguiente, se utilizó una opción alterna de harina que no posea gluten.

Debido al resultado de la pasta con harina de maíz nixtamalizada, se continuó con la formulación del espagueti realizando una variación en cuanto a la proporción de harina de banano verde y harina de arroz. La formulación se basa en la búsqueda de

un sabor y visualmente agradable por lo que la primera prueba se realizó en porción 60:40 en base seca de harina de banano y harina de arroz respectivamente. Se continúa con la adición de huevo ya que, en particular, en la pasta fresca, la presencia de proteínas de huevo mejora las propiedades mecánicas y el comportamiento en la cocción del producto. La mejora de la calidad de la pasta está relacionada principalmente con la ovoalbúmina, que tiene propiedades de coagulación y gelificación que ayuda al no tener gluten en la masa.

Se realizó el mismo procedimiento para una mezcla de 55:45 de harina de banano verde y harina de arroz respectivamente, adicionando 0.24% de Goma Xantan la cual aportó su función como hidrocoloide que tiene propiedades viscoelásticas muy significativas y fue usada para imitar la capacidad del gluten para formar una textura elástica en la pasta. El producto final obtuvo una mejora significativa en cuanto a la consistencia de la pasta, así como en el sabor de la misma. En cuanto al color, la pasta presentó partículas de color blanco las cuales no son favorables para la percepción visual del mismo a pesar de utilizar espinaca como saborizante y colorante natural en el espagueti.

Al finalizar ambas pruebas, se determinó que la adición de Goma Xantan brindó características deseadas en la pasta al aportar elasticidad y consistencia en la misma. Se mantendrá para las siguientes pruebas la formulación establecida.

Debido a que se buscó que el producto tuviese una aceptación en los consumidores de pasta, se decidió cambiar la harina de arroz por harina de yuca para evitar la presencia de partículas blancas en el producto y lograr un color homogéneo en la pasta. En la Tabla 49 se detalla la formulación de la pasta en donde se utilizó una proporción de 60:40 en harina de banano y harina de yuca respectivamente. La razón por la que se utilizó la harina de yuca fue debido a su alto contenido de almidones los cuales permiten elaborar un producto con mejores características y propiedades organolépticas. Con el uso de la harina de yuca se obtuvo un color uniforme y para efectos de percepción visual se adicionó espinaca, por su propiedad de brindar un color

verde el cual es atractivo para los consumidores ya poseen una aceptación en el mercado, debido a esto se eligió al no afectar sus características sensoriales en el producto terminado espagueti.

A partir de esta formulación, se logra el estandarizar el color en la pasta, así como la mejora en textura y consistencia del espagueti. En la Tabla 50 se describe el rendimiento en cada etapa de proceso de elaboración de pasta teniendo como final un rendimiento de 62.38%, según el balance de masa. El espagueti es sometido a un proceso de secado en donde se buscó mantener la frescura del producto por lo que se tiene una pérdida de humedad del 35%. Este producto fue almacenado en refrigeración (2 °C – 6 °C) para garantizar la calidad del mismo para posteriormente prepararla en un proceso de cocción previo a la evaluación sensorial en consumidores. Se realizó la misma formulación en donde se sustituyó la harina de banano verde por una harina comercial sin gluten la cual fue contra el producto que se evaluó el espagueti elaborado a partir de la harina de banano verde.

Al finalizar la elaboración de pasta tipo espagueti, se procedió a realizar análisis microbiológicos en la pasta tomando como base el RTCA 67.04.50:05 Alimentos. Criterios Microbiológicos para la inocuidad de alimentos., tomando como base el subgrupo 6.2 del alimento Pastas (rellenas) el cual establece el análisis de parámetros de *Staphylococcus aureus* y *Salmonella spp* teniendo un resultado de < 10 y ausencia respectivamente, cumpliendo de esta manera con los parámetros de inocuidad en el producto de espagueti a base de banano verde. Así mismo, se analizó el análisis de *E.Coli* en donde se tiene ausencia de UFC/g en la muestra analizada del producto.

ANÁLISIS SENSORIAL

En el análisis sensorial se realizó una prueba de preferencia mediante el método de estadística no paramétrica debido a la búsqueda de la aceptación del consumidor y mediante la prueba, establecer si el producto podría ser competitivo en el mercado para personas intolerantes al gluten. Se realizaron dos distintas formulaciones para ser

evaluadas y de esta forma determinar la preferencia del mercado consumidor de pastas. La diferencia entre ambas muestras fue el tipo de harina utilizado siendo en una harina de banano verde y en la otra harina comercial sin gluten. En ambas formulaciones se mantuvo la misma cantidad de harina de yuca, la cual se utilizó en una proporción del 40% en ambos casos.

La evaluación constó en seleccionar entre dos muestras la preferida por sus características en conjunto. La evaluación se realizó en una planta productora de pastas, quienes poseen un conocimiento amplio y un paladar acostumbrado a un sabor específico a pasta de trigo.

Para la preparación de las muestras, se siguieron los mismos pasos para evitar alguna diferencia provocada por la manipulación del producto. Se preparó en una salsa blanca con base de requesón la cual resaltaba el color verde en ambas muestras.

Los resultados se muestran en la Tabla 54, en donde se descartó una persona debido a que no tuvo una preferencia en específico como se puede observar en la Tabla 54, indica que ambas son de su agrado por lo que se tomaron los datos de 99 personas encuestadas. Según el cálculo estadístico de Chi-Cuadrado, el resultado a partir de la tabulación fue de 0.24 mientras que el Chi-Cuadrado que se obtuvo a partir de la tabla de Valores de chi-cuadrado para significación a varios niveles que se muestra en la Imagen 8, fue de 3.84. Por consiguiente, al tener el valor de Chi-Cuadrado menor al Chi-Cuadrado tabulado, decimos que no hay evidencias suficientes para rechazar la hipótesis nula (H_0); no se detectan preferencias significativas por alguna de las dos muestras y se concluyó que las preferencias son fruto del azar.

Según el modelo el mínimo de juicios para establecer preferencias (dos colas) con un número total de 100 juicios, debía ser de 61 con 0.05 de nivel de probabilidad, 64 con 0.1 de nivel de probabilidad y 67 con 0.001 de nivel de probabilidad; en intervalos de 95, 99 y 99.9% de confianza respectivamente. Por lo que se concluyó que las personas no percibieron un sabor distinto o representativo en la harina de banano verde, es decir que cumple con el objetivo de ser un sustituto de harina y es aplicable para la producción de pastas que en el caso de este estudio fue de tipo espagueti.

VII. CONCLUSIONES

1. La temperatura es de 60 – 65°C por un tiempo de 36 horas para garantizar una humedad en el producto terminado de 4.56 % analizado por el laboratorio CONCALIDAD. La materia prima del banano debe ser de 3.4 – 3.9 °Brix para garantizar el grado de madurez. La inmersión en solución ácida se debe de realizar con ácido cítrico y ácido ascórbico (0.115 y 0.17% respectivamente) para alcanzar un pH de 3 en la solución y someterse a un tiempo de 15 minutos.
2. Con base al procedimiento de elaboración de harina de banano verde se determinó un rendimiento del 15.48%.
3. La proporción adecuada para la elaboración de espagueti fue de 60:40 con harina de yuca en base a la cual se realizó la formulación del producto terminado al obtener un resultado en donde las características sensoriales no se ven afectadas.
4. No se determinó diferencia significativa en cuanto a la preferencia del producto terminado: espagueti, por lo que se determinó que el producto con harina de banano no desarrolla atributos indeseables en la pasta.

VIII. RECOMENDACIONES

1. En el proceso de pelado, se recomienda aplicar el escaldado para facilitar el descortezado y evitar el aumento en merma al momento de realizar el pelado en el banano.
2. Se recomienda realizar un blanqueado de la harina para evitar resultados negativos en la evaluación organoléptica de los productos desarrollados a partir de la harina de banano verde.
3. Utilizar el mismo tipo de bandejas en el proceso de secado para evitar diferencias en la pérdida de agua del alimento y que la transferencia de calor sea lo más similar en cada una de las bandejas.
4. Realizar un estudio del tiempo de secado utilizando diferentes grosores de corte en el banano.
5. Al deshidratar el banano la temperatura debe mantener inferior a los 60 °C para evitar que el alimento sufra de caramelización debido a su contenido de azúcar y esto altera las propiedades organolépticas.
6. Se aconseja realizar un estudio de factibilidad para el uso de banano verde como materia prima para la elaboración de la harina y de la pasta como producto terminado.
7. Se recomienda realizar una validación de trazas de gluten en harina para garantizar su uso para productos sin gluten.
8. Elaborar la pasta en equipo libre de gluten.

9. Se recomienda realizar un estudio sensorial en personas que padezcan la enfermedad celiaca.
10. Se aconseja utilizar un molino de martillos para garantizar el cumplimiento de partícula en el tamiz.
11. El uso de un deshidratador de convección para disminuir el tiempo de secado y lograr optimizar el proceso de producción de harina de banano verde.

IX. REFERENCIAS

- Aditivos Alimentarios. (22 de febrero de 2017). *Aditivos Alimentarios*. Obtenido de <http://www.aditivos-alimentarios.com/>
- AGEXPORT. (18 de Marzo de 2017). *EXPORT*. Obtenido de http://export.com.gt/estadisticas-de-exportacion/#Julio_2016
- Aguirre, A. C. (2016). *ESFERIFICACIÓN INVERSA DE BEBIDA NUTRICIONAL SABOR FRESA, DESARROLLADA PARA EL BENEFICIO DE LA NIÑEZ INTERMEDIA Y DETERMINACIÓN DE SU TIEMPO DE VIDA ÚTIL EN CONDICIONES ADECUADAS*. Guatemala: URL.
- Ahued, M. G. (2014). *Análisis Sensorial de Alimentos*. Hidalgo, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Alvaréz, F. V. (2011). *Almidón modificado en el mejoramiento de formulas alimenticias*. Guayaquil, Ecuador: Escuela superior politécnica del litoral.
- AOECS. (2015). *Asociación Europea de Sociedades Celíaca*. Recuperado el 18 de Mayo de 2016, de <http://www.aoecs.org/>
- Asociación de Acedemias de la Lengua Española. (2017). *Real Academia Española*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=XO9DFb0>
- Aulla, O. A. (2008). *Estudio del Efecto de la Movilidad de Agua a diferentes Estados de Madurez en la Deshidratación Osmótica del Banano*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Azurdia, F. R. (2014). *Factores de Riesgo que ocasionaron la deserción de estudiantes de la facultad de ingeniería de la Universidad Rafael Landívar*. Guatemala: URL.

Bajaña, J. (7 de Enero de 2014). *PREZI*. Obtenido de PREZI:
<https://prezi.com/zah0s97n3wmo/copy-of-enzimas/>

Banco de Guatemala. (2000). *Departamento de Estadísticas Económicas. Sección de Cuentas Nacionales. Costo de Producción. Temporada 1999-200*. Guatemala: Bco. de Guatemala.

Barreiro, J., & Sandoval, A. (2006). *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas*. Venezuela: Editorial Equinoccio.

Baz, Á. D. (1999). *Tamiz para Harina*. Orlando, Florida: Dart Industries Inc.

Berger, H. (2004). *Cosecha, índices de madurez y manejo de frutas y hortalizas*. Chile: Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Obtenido de Determinación de los índices de madurez en frutas.

Blanc, E. C. (2001). *Tecnología de los Aparatos de Fragmentación y de Clasificación Dimensional*. Madrid: Colección Rocas y Minerales.

Bouber, F. (1991). *Tecnología alimentaria y agroindustria rural*. Colombia: CELATER.

Bressani, R. (1961). *La composición química de diversas clases de banano y el uso de harinas de banano en alimentación de pollos*. Costa Rica: Turrialba.

Cabrera, V. (2012). *Proceso de Secado*. México: UDLAP.

Canadian Celiac Association. (2005). *Family Health*. Obtenido de http://www.familyhealthonline.ca/fho/nutrition/NU_celiacDisease_FHa08.asp

Cánovas, B. (1996). *Dehydration of foods*. Washington D.C: Springer US.

Carbajal, G., & Ramírez, J. (2012). *Análisis proximal de alimentos*. Perú: Universidad Nacional del Santa.

Carbotecnia. (28 de Abril de 2017). *Carbotecnia*. Obtenido de <https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/granulometria/>

Carvajal Maridueña, C. L., & Martínez Jara, M. (2000). *Diseño experimental para el control del pardeamiento del banano tipo cavendish en la elaboracion de harina*. Ecuador: ESPOL.

Consejo para la Información sobre Seguridad de Alimentos y Nutrición. (13 de Marzo de 2017). *CISAN*. Obtenido de http://www.cisan.org.ar/articulo_ampliado.php?id=71&hash=1968577f968f269130c5a9a3e4f8ebb7

Cruz, R. G. (2016). *Elaboracion de harina de banano verde a nivel laboratorio para la elaboracion de una galleta libre de gluten*. Guatemala: USAC.

Dadzie, B. K. (1999). *Evaluación rutinaria postcosecha de híbridos de bananos y plátanos: criterios y métodos*. Jacou, Francia: CIRPAC.

Demerutis, C. (1996). *Procesos fisiológicos y sistemas de postcosecha*. Costa Rica: Escuela de Agricultura.

Desai, D. D. (1975). *Chemical transformation in three varieties of banana fruits stored ar 20°C*. United States: Journal of Agricultural Science.

F. C. Stratton, H. W. (1930). *A chemical study of different varieties of bananas during ripening*. Estados Unidos: UFCO.

Fennema, O. (1976). *Principles of Food Science*. Nueva York: Marcel Dekker.

- Garcia-Caballero, C., & González-Meneses, A. (2000). *Tratado de Pediatría Social*. España: Ediciones Díaz de Santos.
- Gómez, L. M. (2007). *Elaboración de pasta enriquecida con soya para mejorar sus propiedades proteínicas*. Obregón, Sonora: Instituto Tecnológico de Sonora.
- Gonzalez, H. (2003). *Reacción de Maillard*. México: UNAM.
- Gutiérrez, J. B. (2000). *Ciencia Bromatológica*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Gutierrez, L. F. (2013). *EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO FISICO y QUIMICO POSCOSECHA DEL PLATANO DOMINICO HARTON (MUSA AAB SIMMONDS) CULTIVADO EN EL MUNICIPIO DE BELALCAZAR (CALDAS)*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia.
- Hall, C. W., & Salas Arango, F. (1968). *Equipo para procesamiento de productos agrícolas*. Costa Rica: IICA.
- Health Canada. (2009). *Celiac Disease. The Gluten Connection*. Canada: Minister of Health.
- Hernandez, E. (1986). *Cambios físicos y químicos durante la maduración de cambures y plátanos*. Venezuela: Universidad del Zulia.
- Hervas, E. (1976). *Uso del banano en los ciclos de vida del cerdo*. Colombia: Ciat.
- Hoseney, C., & Delcour, J. (1991). *Principios de ciencia y tecnología de los cereales*. Acribia: Illustrated.
- INCA. (2004). *Cadena Agroindustrial de Yuca*. Nicaragua: JICA.
- J. Le Dividich, B. S. (1976). *Preparation et utilisation de l'ensilage de banane en alimentation animal*. Italia: Annales de Zootechnie.

- J. Sancho, E. B. (1999). *Introducción al análisis sensorial de los alimentos*. Barcelona: Edicions de la Universitat de Barcelona.
- J.H Maner, W. G. (1974). *Swine Production in Temperate and Tropical Enviroments*. Nueva York: Cornell University.
- Kader, A. (1996). *Temperature and Controlled Atmosphere*. California: Department of Pomology University of California.
- Larrosa, V. J. (2014). *Efectos de los hidrocolides en las características fisicoquímicas y reológicas de pastas libres de gluten aptas para individuos celíacos*. Argentina: Universidad Nacional de la Plata.
- Loesecke, H. W. (1950). *Bananas. Chemistri. Physiology. Technology*. . Nueva York: Interscience Publishers in Company.
- López, J. I., Gutiérrez, D., & Pacheco, L. C. (2007). *Análisis de Alimentos I*. Sonora, México: Colegio de Bachilleres.
- Marín, P. V. (4 de Septiembre de 2008). *Manual de Deshidratación*. Obtenido de <http://manualdeshidratacion.blogspot.com/2008/09/frutas-y-hortalizas.html>
- Martínez, A. G. (2010). *Preelaboración y Conservación de Alimentos*. Pinto, Madrid: Akal, S.A.
- Maselli, J. (2013). *CeroTACC*. Obtenido de Celíacos conectados: <http://cerotacc.com/la-enfermedad-celiaca-de-la-piel-una-de-las-facetas-menos-conocida-de-la-ec/>
- Menchú, M. T., & Méndez, H. (2011). *Análisis de la Situación Alimentaria en Guatemala*. Guatemala: INCAP.

Merino, C. (1993). *Análisis de los desperdicios generados en una planta de producción de pastas y proposición de métodos para su reducción y mejor aprovechamiento*. Caracas, Venezuela: Universidad Católica Andres Bello.

(s.f.). *Metodología Afectiva y Valor Biológico del Placer de Comer*. Argentina: FFyB .

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2015). *El Agro en Cifras 2014*. Guatemala: Gobierno de Guatemala.

Montenegro, S. C. (2015). *Guía para la elaboración de harina de Plátano*. Costa Rica: Independiente.

Mora, A. C. (2012). *Evaluación de la calidad de cocción y calidad sensorial de pasta elaborada a partir de mezclas de sémola de trigo y harina de quinoa*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Ochoa, S. H. (2011). *Secado en biotecnología*. Iztapalapa, México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Ordoñez, A. G. (2005). *Diseño de un proceso para la maduración acelerada de banano utilizando etefón como agente madurador*. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Ortiz, E. (2015). *Estadística Inferencial*. Guatemala: URL.

Penna, E. W. (200). *Evaluación Sensorial. Una metodología actual para tecnología de alimentos*. USACH.

Penna, E. W. (2001). *Evaluación sensorial. Una metodología actual para tecnología de alimentos*. Chile: Facultad de Ciencias Básicas y Farmacéuticas de la Universidad de Chile.

Pérez, M. P. (2001). *Utilización del banano de rechazo en la alimentación de Cerdos*. Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Pérez-Reyes, M., & Sosa-Morales, M. (2013). *Mecanismos de transferencia de calor que ocurren en tratamientos térmicos de alimentos*. Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla.

(1998). *Primer Encuentro Técnico Nacional de Producción y Transformación de Yuca*. Costa Rica: IICA.

Reglamento Técnico Centroamericano. (2007). *Ministerio de Economía*. Obtenido de Harinas. Harina de trigo fortificada: http://www.mineco.gob.gt/sites/default/files/pdfs/reglamento_harinas.pdf

Reglamento Técnico Centroamericano. (2008). *Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social*. Obtenido de Criterios microbiológicos para la inocuidad de alimentos: <http://www.mspas.gob.gt/images/files/drca/normativasvigentes/RTCACriteriosMicrobiologicos.PDF>

Richardson, T., & Hyslop, D. (1985). *Enzymes in Food Chemistry*. New York: Marcel Dekker.

Roldán, L. d. (2005). *Valor nutritivo de Harina de Banano Verde*. Guatemala: USAC.

Ron, W., McGlasson, B., Graham, D., & Joyce, D. (1981). *Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals*. New York: CAB International.

RTCA 67.04.54:10. (2010). *Ministerio de Salud Pública*. Obtenido de <http://www.mspas.gob.gt/images/files/drca/normativasvigentes/RTCAAditivosAlimentarios.pdf>

Segura, M. E. (2013). *Formulación y Desarrollo de Productos Horneados libres de gluten a base de harina de arroz enriquecidos con proteínas*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia.

The Association of American Feed Control Officials. (2000). AAFCO. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-y1453s.pdf>

Vargas, J. E. (2006). *Elaboración de un manual de orientación nutricional para el paciente con enfermedad celíaca en Guatemala*. Guatemala: USAC.

Walpole, R. E., Myers, R. H., & Myers, S. L. (2011). *Probabilidad y estadística para ingenieros*. Pearson.

Wrigley, C., Corke, H., & Seetharaman, K. (2004). *Encyclopedia of Food Grains*. Kansas, Estados Unidos: Elsevier.

X. GLOSARIO Y ABREVIATURAS

10.1 GLOSARIO

Adiabático	Es un proceso o sistema donde no se gana o pierde calor.
Adhesión	La fuerza que resiste la separación de dos cuerpos que están en contacto.
Absorber	Cuando átomos, moléculas o iones son atrapados o retenidos en la superficie de un material.
Agua libre	Agua contenida en un material que es fácil de retirar y formar películas en la superficie del sólido.
Agua ligada	Agua contenida en un material que no puede eliminarse fácilmente, no está libre para actuar como solvente para sales y azúcares. Se puede congelar a muy bajas temperaturas, no presenta presión de vapor y su densidad es mayor que la del agua libre.
Calor sensible	Cantidad de calor que absorbe o libera un cuerpo sin que en él ocurran cambios en su estado físico (cambio de fase).
Cohesión	La atracción entre las moléculas o partículas que forman la masa de un líquido o un sólido.
Consistencia	Término general que describe la propiedad de una sustancia

de resistir un cambio permanente de forma.

Deformación	Acción y efecto de un cambio de forma, de volumen o de ambos.
Gluten	Conjunto de proteínas contenidas en el trigo, centeno y cebada. Está compuesto de gliadina y gluteína; es el responsable de dar elasticidad a la masa de la harina.
Mesh	Tamaño de partícula mínimo que será retenido por un tamiz.
Nixtamalizado	Es el proceso mediante el cual se realiza la cocción del maíz con agua y cal.
Reología	Es la rama de la mecánica de medios continuos, es la parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación de los materiales que son capaces de fluir.

10.2 ABREVIATURAS

Símbolo	Significado
mm	Milímetro
Kg	Kilogramo
h	Hora
g	Gramo
Kcal	Kilocaloría
°C	Grado centígrado
X	Contenido de humedad
O₁	número observado producto A
O₂	número observado producto B
E₁	Número esperado producto A
E₂	Número esperado correctas
χ²	Chi-Cuadrado
n	Productos a evaluar en Chi-Cuadrado
gl	Grados de Libertad
r	Número de filas para el cálculo de número de grados de libertad
k	Número de columnas para el cálculo de numero de grados de libertad
H_o	Hipótesis nula
H₁	Hipótesis alterna
UFC/g	Unidades Formadoras de Colonia por gramo
PPO	Polifenol Oxidasa
RTCA	Reglamento Técnico Centroamericano

XI. ANEXOS

11.1 ANEXO A: Costo estimado de producción de Banano

Costo Estimado de Producción por Manzana, Año 2000 Cultivo Tecnificado -En Quetzales-

I. Costo Directo				<u>8,624.11</u>
1. Renta de la Tierra				500.00
2. Costo de establecimiento				305.28
3. Mano de obra				<u>3,737.14</u>
a. Limpias y deshijes	jornal	23.00	30.00	690.00
b. Fertilización	jornal	14.00	30.00	420.00
c. Cosecha y acarreo	jornal	50.00	30.00	1,500.00
d. Control de plagas	jornal	22.00	30.00	660.00
e. Séptimos días				467.14
4. Depreciación de Maquinaria y Equipo				<u>2,235.61</u>
a. Fumigación				
- Asperjadora manual	Hr. Bomba	42.00	1.16	48.54
- Asperjadora mecánica	Hr. Bomba	48.00	7.38	354.07
b. Transporte cablevía	cable	52.00	22.68	1,179.36
c. Fumigación aérea (servicio)	hora	0.70	933.78	653.65
5. Insumos				<u>1,846.08</u>
a. Combustibles	galón	4.00	12.85	51.4
b. Lubricantes	litro	1.00	11.00	11.00
c. Fertilizantes				
- Nitrogenados	quintal	3.30	51.7	170.61
- Completos	quintal	7.00	72.11	504.77
d. Insecticidas				
- Sistémicos	litro			186.50
- Contacto	litro			163.83
e. Fungicidas				
- Sistémicos	libra			138.25
- Foliares	libra			242.20
f. Herbicidas				
- Contacto	litro	2.50	38.93	97.33
g. Nematicidas	libra	14.00	20.00	280.00
II. Costo Indirecto				<u>2,297.77</u>
1. Administración (1% s/C.D.)				86.24
2. Cuota del IGGS (6% s/M.O.)				224.23
3. Financieros (21% s/C.D. 12M)				1,811.06
4. Imprevistos (1% s/C.D.)				86.24
5. Impuesto municipal (Q0.15/qq)				90.00
III. Costo Total por Manzana				<u>10,921.88</u>
(Para una producción de 600qq)				
IV. Costo Unitario				18.20
V. Ingreso Venta Producción (Q25.00/qq)				18,000.00
VI. Ingreso Neto				7,078.12
VII. Rentabilidad (%)				64.81

Figura 4: Costos de producción de banano en Guatemala

Fuente: (Banco de Guatemala, 2000)

11.2 ANEXO B: Información de encuesta y encuestados

Tabla 56: Tabulaciones de resultados prueba pareada de espagueti.

<i>No. consumidor</i>	<i>Muestra espagueti con harina de banano</i>	<i>Muestra espagueti con harina comercial sin gluten</i>
1	1	
2		1
3		1
4		1
5		1
6	1	
7	1	
8	1	
9		1
10		1
11		1
12		1
13		1
14		1
15	1	
16	1	
17	1	
18	1	
19	1	
20		1
21		1
22		1
23	1	
24	1	
25	1	

*Nota: Se muestran una referencia de 25 resultados aleatorios de 100 consumidores encuestados.

Elaboración propia (2017)

Tabla 57: Resultados del análisis sensorial

Sexo	Códigos			
	308	188	726	215
Femenino	15	18	8	12
Masculino	12	9	12	18
TOTAL	27	27	20	30

Elaboración propia (2017)

Tabla 58: Resultados análisis sensorial

Muestra	Códigos	Cantidad
Espagueti con harina de banano verde	308 726	47
Espagueti con harina sin gluten comercial	188 215	52
Total		99

Elaboración propia (2017)

11.3 ANEXO C: Informe de análisis realizado en el laboratorio

11.3.1 Análisis fisicoquímico de harina de banano

INFORME DE ANÁLISIS No. 1133-17

Resultados de Análisis Fisicoquímicos


Parámetro	Resultado (%)
Humedad %	4.56
Cenizas %	2.29
Proteínas %	5.11

Abreviaturas: % porcentaje

Metodología: HUMEDAD: <ME-FQ-05-004>; CENIZAS: <ME-FQ-05-001>; PROTEINAS: <ME-FQ-04-010>.

Analista: AD, GR
Vo.Bo. BR, LA

Supervisado por:



Inga. Luisa Arias
Gerente de Laboratorio

Laboratorio de Control y Calidad
"CONCALIDAD"
Universidad Rafael Landívar, Vista Hermosa
Tercer Nivel, Campus Central, Edificio TEC,
Primer Nivel, Oficina 110, zona 16,
Guatemala, Guatemala
Tel: (502) 2426-2594

NOTAS:

1. Los resultados de este informe corresponden únicamente a la muestra analizada tal y como fue recibida por Concalidad.
2. Este informe puede ser reproducido únicamente en su totalidad; si desea hacerlo parcialmente, solicita la aprobación por escrito de la gerencia de Concalidad.
3. Este informe es válido únicamente en original.
4. Concalidad no se responsabiliza por el uso que se dé a este informe.

11.3.2 Análisis microbiológico de harina de banano



UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR, VISTA HERMOSA III, CAMPUS CENTRAL, EDIFICIO TEC,
PRIMER NIVEL, OFICINA 110, ZONA 16, GUATEMALA, TEL: 2426-2594

INFORME DE ANÁLISIS No. 1133-17

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA			
Código de Laboratorio:	PA-112 ¹ -17	Empresa	Gabriela Gonzáles
Nombre la muestra:	Harina de banano verde	Dirección	13 avenida 30-65 zona 5
Lote:	No presenta	Análisis Solicitado:	Recuento de mohos y levaduras
Fecha de Producción:	20/02/2017	Con atención a:	Gabriela Gonzáles
Fecha de Vencimiento:	No presenta	Fecha de recepción	14/03/2017
Código de Análisis	M7-337, C10-163	Fecha de Informe	23/03/2017

DATOS DE LA MUESTRA	
Condiciones de la muestra al momento de la recepción:	Se recibe la muestra en bolsa Ziploc a temperatura ambiente.
Fecha de inicio de análisis	15/03/2017
Fecha de Finalización	21/03/2017

Resultados de Análisis Microbiológicos

Análisis	Resultado
Recuento de mohos UFC/g	10
Recuento de levaduras UFC/g	50

Abreviaturas: UFC/g: unidades formadoras de colonia por gramo. LMA: Límite máximo aceptable. LMP: Límite máximo permitido.
MNBC: Muy Numerosas para poder contarse (cuentas mayores de 250,000 UFC/g)

* Límite Mínimo de detección <10 UFC/g: esto significa que un resultado menor que 10 es el equivalente a NEGATIVO por el método utilizado.

**Referencia: **RN No 615-2003 SADM Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano. Norma Oficial Mexicana NOM-093-S541-1994 Especificaciones Microbiológicas en Alimentos

Metodología: Bacteriological Analytical Manual (BAM), United States Food & Drug Administration, 8^a edición, 1996.

NOTAS

1. Los resultados de este informe corresponden únicamente a la muestra analizada y como tal emitida por Concalidad.
2. Este informe puede ser reproducido únicamente en su totalidad, si desea hacerlo parcialmente, solicite la aprobación por escrito de la gerencia de Concalidad.
3. Este informe es válido únicamente en original.
4. Concalidad no se responsabiliza por el uso que se dé a este informe.

11.3.3 Análisis microbiológico de pasta tipo espagueti



Fecha de emisión 15/03/2016 del documento R-PLA0010-001 Rev.01

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR, VISTA HERMOSA III, CAMPUS CENTRAL, EDIFICIO TEC,
PRIMER NIVEL, OFICINA 110, ZONA 16, GUATEMALA, TEL.: 2426-2594

INFORME DE ANÁLISIS No.1134-17

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA			
Código de Laboratorio:	PA-1128-17	Empresa	Gabriela Gonzáles
Nombre la muestra:	Espagueti	Dirección	13 avenida 30-65 zona 5
Lote:	No presenta	Análisis Solicitado:	Microbiológico básico, <i>Salmonella</i> spp, <i>Staphylococcus aureus</i>
Fecha de Producción:	11/03/2017	Con atención a:	Gabriela Gonzáles
Fecha de Vencimiento:	No presenta	Fecha de recepción	14/03/2017
Código de Análisis	M7-336	Fecha de Informe	23/03/2017

DATOS DE LA MUESTRA	
Condiciones de la muestra al momento de la recepción:	Se recibe la muestra en bolsa Ziploc a temperatura fría
Fecha de inicio de análisis	15/03/2017
Fecha de Finalización	23/03/2017

Resultados de Análisis Microbiológicos

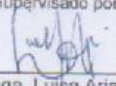
Análisis	Resultado
Recuento aeróbico total UFC/g	30,000,000
Coliformes totales UFC/g	7,800,000
<i>E. coli</i> UFC/g	Ausencia
<i>Salmonella</i> spp. UFC/25g	Ausencia
<i>Staphylococcus aureus</i> UFC/g	<10

Abreviaturas: UFC/g: unidades formadoras de colonia por gramo. LMA: Límite máximo aceptable. LMP: Límite máximo permitido.
MNPC: Muy Numerosas para poder contarse (conteos mayores de 250,000 UFC/g).
* Límite Mínimo de detección <10 UFC/g: esto significa que un resultado menos que 10 es el equivalente a NEGATIVO por el método utilizado.

Metodología: Bacteriological Analytical Manual (BAM). United States Food & Drug Administration. 8ª edición. 1998.

Analista:AD
Vo.Bo. BR

Supervisado por:


Inga. Luisa Arias
Gerente de Laboratorio

NOTAS.

1. Los resultados de este informe corresponden únicamente a la muestra analizada tal y como fue recibida por Concalidad.
2. Este informe puede ser reproducido únicamente en su totalidad, si desea hacerlo parcialmente, solicite la autorización por escrito de la gerencia de Concalidad.
3. Este informe es válido únicamente en original.
4. Concalidad no se responsabiliza por el uso que se dé a este informe.

11.3.4 Análisis de gluten en harina de banano verde

8.3.2 Cálculo de Resultados

1. **Gluten Húmedo:**

$$\text{Gluten Húmedo} = \text{Gluten en parte inferior del cassette (g)} + \text{Gluten en parte superior del cassette (g)}$$

2. **Índice de Gluten:**

$$\text{Índice de Gluten} = \frac{\text{Gluten en parte superior del cassette (g)}}{\text{Gluten Húmedo (g)}} \cdot 100$$

RESULTADOS

	Corrida 1	Corrida 2	Promedio
Índice de gluten	0 %	0 %	0 %
Gluten húmedo	0 g	0 g	0 g
Gluten seco	0 g	0 g	0 g

11.4 ANEXO D: Normativa de análisis microbiológico, físico y químico

RTCA 67.01.15:07

Tabla 59: Criterios microbiológicos en harina de trigo

Parámetro	Plan de muestreo				Límites	
	Tipo de riesgo	Clase	n	C	m	M
Recuento mohos y levaduras	B	3	5	1	10 UFC/g	10 ³ UFC/g

Fuente: (Reglamento Técnico Centroamericano, 2007)

Tabla 60: Requisitos fisicoquímicos de conformidad a la variedad de trigo

<i>Determinaciones</i>	<i>Límite</i>
Humedad, en porcentaje máximo en masa (m/m)	15.5 %
Proteínas (N x 5.7), en porcentaje mínimo en masa (m/m), en base seca	7.0 %
Ceniza en porcentaje máximo en masa (m/m)	1.0%

Fuente: (Reglamento Técnico Centroamericano, 2007)

RTCA 67.04.50:08

Tabla 61: Requisitos microbiológicos para Pastas (rellenas).

<i>Parámetro</i>	<i>Categoría</i>	<i>Tipo de riesgo</i>	<i>Límite máximo permitido</i>
<i>Staphylococcus aureus</i>	7	C	10 ² UFC/g
<i>Salmonella ssp</i>	10		Ausencia

Fuente: (Reglamento Técnico Centroamericano, 2008)

11.5 ANEXO E: Muestra de Cálculo

11.5.1 Contenido de Humedad en pruebas

Tabla 62: Humedad en las pruebas

<i>No. Prueba</i>	<i>Humedad (%)</i>
1	7.20
2	5.66
3	5.70
4	6.87
5	2.47
6.	6.17

Elaboración propia (2017)

Cálculos

- Humedad:

Humedad (%)

= (*humedad inicial del banano verde*
– *humedad perdida del banano verde*)

$$Humedad (\%) = 79\% - 72.83\% \cong \mathbf{6.17}$$

11.5.2 Rendimiento de proceso

Tabla 63: Rendimiento en las pruebas

<i>No. Prueba</i>	<i>Rendimiento (%)</i>
1	19.46
2	18.09
3	16.32
4	7.73
5	13.34
6	15.48

Elaboración propia (2017)

Cálculos

- Rendimiento:

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento (\%)} \\ &= \left[\frac{\text{Peso final de banano deshidratado}}{\text{Peso inicial de banano no pelado}} \right] \times 100 \end{aligned}$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \left[\frac{978 \text{ g}}{6317 \text{ g}} \right] \times 100 \cong \mathbf{15.48\%}$$

11.5.3 Chi-Cuadrado

Tabla 64: Datos de Chi-Cuadrada para comparación de valores.

		<i>Prueba Pareada</i>
n	Número de panelistas	100
O1	# observado de elecciones correctas	47
O2	# observado de elecciones incorrectas	52
E1	# esperado de elecciones correctas (np):	50
p	Prueba Pareada: 0.500	
E2	# esperado de elecciones incorrectas (nq):	50
q	Prueba Pareada: 0.500	
	χ^2	0.24
	Grados de libertad	1
	Chi para 1 grado de libertad y 5% de significancia (p=0.05)	3.84

Elaboración propia (2017)

Cálculos

$$\chi^2 = \left[\frac{(O_1 - E_1)^2 - 0.5}{E_1} \right] + \left[\frac{(O_2 - E_2)^2 - 0.5}{E_2} \right]$$

$$\chi^2 = \left[\frac{(47 - 50)^2 - 0.5}{50} \right] + \left[\frac{(52 - 50)^2 - 0.5}{50} \right]$$

$$\chi^2 = 0.24$$

	Mínimo de juicios correctos para establecer diferencias (una cola)			Mínimo de juicios correctos para establecer preferencias (dos colas)		
Número de juicios	Nivel de Probabilidad					
(jueces x set)	0.05	0.01	0.001	0.05	0.01	0.001
7	7	7	–	7	–	–
8	7	8	–	8	8	–
9	8	9	–	8	9	–
10	9	10	10	9	10	–
11	9	10	11	10	11	11
12	10	11	12	10	11	12
13	10	12	13	11	12	13
14	11	12	13	12	13	14
15	12	13	14	12	13	14
16	12	14	15	13	14	15
17	13	14	16	13	15	16
18	13	15	16	14	15	17
19	14	15	17	15	16	17
20	15	16	18	15	17	18
21	15	17	18	16	17	19
22	16	17	19	17	18	19
23	16	18	20	17	19	20
24	17	19	20	18	19	21
25	18	19	21	18	20	21
30	20	22	24	21	23	25
35	23	25	27	24	26	28
40	26	28	31	27	29	31
45	29	31	34	30	32	34
50	32	34	37	33	35	37
60	37	40	43	39	41	44
70	43	46	49	44	47	50
80	48	51	55	50	52	56
90	54	57	61	55	58	61
100	59	63	66	61	64	67

Imágen 7: Tabla de Significación para Test Pareados

“La Tabla A es una adaptación de las Tablas de E.B. Roessler, G.A. Baker y M.A. Amerine. *Food Tesearch* 21, 117 - 121 (1956)”

Fuente: (Penna E. W., 200)

Tabla de valores críticos de Chi Cuadrada. Bajo la probabilidad de que $H_0 \geq X^2$





Grados de libertad	Nivel de significancia					
	0.20	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.64	2.71	3.84	5.02	6.63	7.83
2	3.22	4.61	5.99	7.38	9.21	10.6
3	4.64	6.25	7.81	9.35	11.3	12.8
4	5.99	7.78	9.49	11.1	13.3	14.9
5	7.29	9.24	11.1	12.8	15.1	16.7
6	8.56	10.6	12.6	14.4	16.8	18.5
7	9.8	12.0	14.1	16.0	18.5	20.3
8	11.03	13.4	15.5	17.5	20.1	22.0
9	12.24	14.7	16.9	19.0	21.7	23.6
10	13.44	16.0	18.3	20.5	23.2	25.2
11	14.63	17.3	19.7	21.9	24.7	26.8
12	15.81	18.5	21.0	23.3	26.2	28.3
13	16.98	19.8	22.4	24.7	27.7	29.8
14	18.15	21.1	23.7	26.1	29.1	31.3
15	19.31	22.3	25.0	27.5	30.6	32.8
16	20.46	23.5	26.3	28.8	32.0	34.3
17	21.62	24.8	27.6	30.2	33.4	35.7
18	22.76	26.0	28.9	31.5	34.8	37.2
19	23.9	27.2	30.1	32.9	36.2	38.6
20	25.04	28.4	31.4	34.2	37.6	40.0
21	26.17	29.6	32.7	35.5	38.9	41.4
22	27.3	30.8	33.9	36.8	40.3	42.8
23	28.43	32.0	35.2	38.1	41.6	44.2
24	29.55	33.2	36.4	39.4	43.0	45.6
25	30.68	34.4	37.7	40.6	44.3	46.5
26	31.8	35.6	38.9	41.9	45.6	48.3
27	32.91	36.7	40.1	43.2	47.0	49.6
28	34.03	37.9	41.3	44.5	48.3	51.0
29	35.14	39.1	42.6	45.7	49.6	52.3
30	36.25	40.3	43.8	47.0	50.9	53.7

Imagen 8: Valores de Chi-Cuadrado para significación a varios niveles

Fuente: (Penna E. W., 200)

11.6 ANEXO F: Recopilación de imágenes

Tabla 65: Elaboración de harina de banano verde

		
<p>Materia prima (banano verde)</p>		
		
<p>Pelado del banano verde</p>	<p>Preparación de solución para inmersión</p>	
		
<p>Inmersión de banano pelado en solución ácida.</p>		



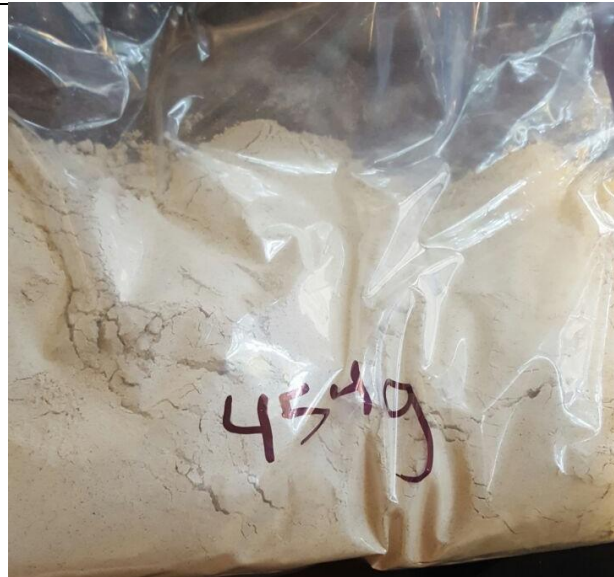
Proceso de secado de banano en rodajas



Pesaje de rodajas deshidratadas.



Molido del banano deshidratado para obtención de harina.



Producto terminado y empacado en bolsas con sellado térmico.



Elaboración propia (2017)

Tabla 66: Elaboración de pasta tipo espagueti

	
<p>Pesaje de materia prima</p>	<p>Mezcla de materia prima</p>
	
<p>Extrusión de masa para formado de espagueti</p>	<p>Proceso de secado de espagueti</p>
	
<p>Producto terminado.</p>	

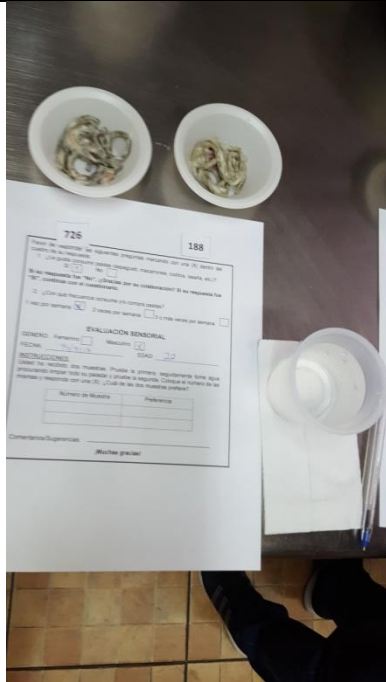
Elaboración propia (2017)

Tabla 67: Cocción de espagueti

	
<p>Espagueti</p>	<p>Preparación del agua (75 °C)</p>
	
<p>Cocción del espagueti</p>	

Elaboración propia (2017)

Tabla 68: Evidencia de evaluación sensorial



Entrega de muestras



Consumidores evaluando



Consumidores evaluando



Consumidores evaluando

Elaboración propia (2017)