

**USO DE HARINA DE MAIZ Y RESIDUOS DE CÁSCARA DE PIÑA COMO  
VEHICULIZANTES DE ESPECIAS EN LA ELABORACIÓN DE UN SAZONADOR**

**MAYRA ALEJANDRA CARABALÍ CARABALÍ  
ÁNGELA MARÍA GALINDO ROMERO**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS  
SANTIAGO DE CALI, COLOMBIA, 2015**

**USO DE HARINA DE MAIZ Y RESIDUOS DE CÁSCARA DE PIÑA COMO  
VEHICULIZANTES DE ESPECIAS EN LA ELABORACIÓN DE UN SAZONADOR**

**MAYRA ALEJANDRA CARABALÍ CARABALÍ  
ÁNGELA MARÍA GALINDO ROMERO**

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial  
para optar por el Título de Ingeniero de Alimentos**

**Director**

**HAROLD A. ACOSTA ZULETA., Ph.D.**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS  
SANTIAGO DE CALI, COLOMBIA, 2015**

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un producto sazonador a base de cáscara de piña, harina de maíz, comino y pimienta. Los componentes de este producto se obtuvieron a partir de cocción, secado y molienda. El uso de una harina como la de maíz puede reemplazar la tradicional harina de trigo o de arroz que se usa regularmente como agente de dispersión y vehículo de las especias molidas, la mezcla de dichos componentes, no solo significa la diversificación de ingredientes de un sazonador sino que también da solución al problema de contaminación con la utilización de los residuos de piña, además garantiza un producto libre de gluten. Para este producto se desarrollaron nueve diferentes formulaciones, variando la cantidad de los insumos (en base al diseño experimental), se evaluó la humedad, el color, los índices de absorción y solubilidad en agua, granulometría, fibra y cenizas, encontrando que los resultados fueron evidentemente altos y bajos en aquellas mezclas donde abundaba o encarecía cierto componente.

Además, fueron efectuados análisis sensoriales a estas 9 formulaciones en un panel de 10 personas, que se encargaron de descartar 7 formulaciones, dejando las 2 más apreciadas, después basándose en esa selección, se evaluaron los parámetros sensoriales (sabor, color, olor y textura) en un panel semi-entrenado de 50 personas, con la finalidad de conocer que formulación tuvo el mayor nivel de aceptación como acarreador de especias, siendo la formulación No. 1 compuesta por 46% de harina de maíz: 8% de cáscara de piña y 46% de especias, en base a 60 g de muestra. Por otro lado, la formulación No. 5 tuvo el más alto porcentaje de fibra (5.92%) siendo la formulación ideal para el desarrollo del producto como un alimento funcional.

Palabras clave: Sazonador, harina de maíz, especias, residuos de piña.

## ABSTRACT

The purpose of this work was developing a seasoning product compound by corn flour, spices and pineapple residues. These ingredients were obtained by cooking, drying and grinding. The use of corn flour might replace traditional slimming ingredients such as wheat flour or rice flour; this mixing would reduce operating and manufacturing costs and also would be a solution for the contamination problems caused by the pineapple residues. To make this product, 9 different formulations were tested and analyzed (Humidity, color, water absorption index, solubility index, granulometry, fiber content and ashes content).

In addition to this, 9 formulations were sensorially analyzed by a small panel of ten people, choosing 2 final formulations, which were submitted to an analysis of acceptance performed by 50 people throughout a survey.

As a result, formulation No 1 (46% corn flour, 46% spices and 8% fiber) won the sensorial report, due to its balance of composition, meanwhile formulation No 5 (50% corn flour, 33% spices and 17% fiber) would make an ideal functional food because of its fiber content.

Keywords: Seasoning, Corn flour, spices, pineapple residues.

## DEDICATORIA

A mi mamá, abuelos y padrinos  
por su apoyo, ayuda, entrega y amor.

Mayra Alejandra Carabali Carabali

A mi mamá por brindarme su apoyo y fortaleza  
en la culminación de mi carrera.

Angela María Galindo Romero

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi mamá por cada esfuerzo realizado para que lograra este objetivo.

Mis abuelos y padrinos por su apoyo incondicional.

A Dios por darme esta gran bendición.

Mayra Alejandra Carabali Carabali

A Dios por guiarme en la dirección correcta.

A mi mamá por su constancia brindándome aliento, paciencia y amor.

A mi hermano y cuñada por la infinita ayuda y conocimiento

A mi tía y primo por su total apoyo.

A todos aquellos que de alguna forma contribuyeron en la realización de este proyecto.

Angela María Galindo Romero

Finalmente

A nuestro director de tesis por la ayuda brindada.

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN.....                                       | 1         |
| 2. MARCO TEÓRICO .....                                     | 3         |
| <b>2.1 FIBRA .....</b>                                     | <b>3</b>  |
| <b>2.2 ESPECIAS .....</b>                                  | <b>3</b>  |
| 2.2.1 COMINO .....                                         | 4         |
| 2.2.2 PIMIENTA.....                                        | 4         |
| <b>2.3 MAÍZ .....</b>                                      | <b>5</b>  |
| 2.3.1 HARINA DE MAIZ.....                                  | 5         |
| <b>2.4 SAZONADORES, CONDIMENTOS, ADOBOS O ALIÑOS.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>2.5 MOLIENDA .....</b>                                  | <b>6</b>  |
| <b>2.6 SECADO.....</b>                                     | <b>6</b>  |
| 3. ANTECEDENTES.....                                       | 8         |
| 4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                        | 10        |
| 5. JUSTIFICACIÓN.....                                      | 11        |
| 6. OBJETIVOS.....                                          | 12        |
| <b>6.1 OBJETIVO GENERAL .....</b>                          | <b>12</b> |
| <b>6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>                     | <b>12</b> |
| 7. MATERIALES Y MÉTODOS.....                               | 13        |
| <b>7.1 MATERIALES Y EQUIPOS.....</b>                       | <b>13</b> |
| <b>7.2 MÉTODOS .....</b>                                   | <b>13</b> |
| 7.2.1 Obtención de la harina de maíz .....                 | 13        |
| 7.2.2 Obtención de las especias en polvo.....              | 14        |
| 7.2.3 Extracción de la fibra de la cáscara de piña .....   | 14        |
| 7.2.4 Mezcla de componentes .....                          | 15        |
| 7.2.5 Diseño experimental .....                            | 15        |
| 7.2.6 Análisis fisicoquímicos de la harina compuesta ..... | 17        |
| 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                             | 22        |
| <b>8.1 PRELIMINARES .....</b>                              | <b>22</b> |
| <b>8.2 PRUEBAS FISICOQUÍMICAS .....</b>                    | <b>22</b> |
| 8.2.1 CONTENIDO DE HUMEDAD .....                           | 22        |

|                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 8.2.2 CENIZAS .....                                                                      | 23        |
| 8.2.3 FIBRA .....                                                                        | 24        |
| 8.2.4 INDICE DE ABSORCION (IAA) Y SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA), PODER DE HINCHAMIENTO ..... | 24        |
| 8.2.5 GRANULOMETRIA.....                                                                 | 26        |
| 8.2.6 DETERMINACIÓN DE COLOR .....                                                       | 28        |
| <b>8.3 ANÁLISIS SENSORIAL .....</b>                                                      | <b>31</b> |
| <b>8.4 ANALISIS DE VARIANZAS (ANOVAS) Y PRUEBAS DE COMPARACIÓN DE TUKEY .....</b>        | <b>32</b> |
| 8.4.1 HUMEDAD.....                                                                       | 34        |
| 8.4.2 INDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA .....                                                | 37        |
| 8.4.3 INDICE DE ABSORCION EN AGUA.....                                                   | 40        |
| 8.4.4 CENIZAS .....                                                                      | 43        |
| 8.4.5 FIBRA .....                                                                        | 46        |
| 8.4.6 CROMA .....                                                                        | 49        |
| 8.4.7 TONALIDAD .....                                                                    | 52        |
| 9. CONCLUSIONES .....                                                                    | 56        |
| 10. RECOMENDACIONES .....                                                                | 57        |
| 11. BIBLIOGRAFÍA.....                                                                    | 58        |
| 12. ANEXOS.....                                                                          | 62        |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Características de composición del comino en forma natural .....                   | 4  |
| Tabla 2. Características de composición de la pimienta en forma natural .....               | 5  |
| Tabla 3. Diseño de experimentos 3 <sup>2</sup> aleatorizado.....                            | 15 |
| Tabla 4. Combinaciones de tratamientos del diseño experimental.....                         | 16 |
| Tabla 5. Porcentajes de especias en las diferentes formulaciones .....                      | 16 |
| Tabla 6. Formulaciones a partir del diseño de experimentos.....                             | 16 |
| Tabla 7. Cantidades de los ingredientes de cada formulación.....                            | 16 |
| Tabla 8. Contenido de humedad de las diferentes formulaciones de la harina compuesta .....  | 22 |
| Tabla 9. Porcentaje de cenizas de las diferentes formulaciones de la harina compuesta ..... | 23 |
| Tabla 10. Porcentaje de fibra de las diferentes formulaciones de la harina compuesta.....   | 24 |
| Tabla 11. Poder de hinchamiento de las diferentes formulaciones de la harina compuesta..... | 25 |
| Tabla 12. Granulometría de la harina de maíz.....                                           | 26 |
| Tabla 13. Granulometría de la cáscara de piña.....                                          | 26 |
| Tabla 14. Granulometría de la pimienta en polvo .....                                       | 27 |
| Tabla 15. Granulometría del comino en polvo .....                                           | 27 |
| Tabla 16. Granulometría de la harina compuesta.....                                         | 27 |
| Tabla 17. Umbrales de tolerancia para el cambio de color .....                              | 31 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Diagrama de bloques de la elaboración de harina de maíz.....                                                              | 13 |
| Figura 2. Diagrama de bloques de la obtención del comino y pimienta negra en polvo.....                                             | 14 |
| Figura 3. Diagrama de bloques de la elaboración de la fibra de cáscara de piña en polvo.....                                        | 14 |
| Figura 4. Diagrama de bloques de la mezcla de componentes .....                                                                     | 15 |
| Figura 5. Representación del color CIELAB .....                                                                                     | 20 |
| Figura 6. Tonos correspondientes a los diferentes ángulos de matiz .....                                                            | 20 |
| Figura 7. Efecto de la variación de las formulaciones en los valores de ISA e IAA ..                                                | 25 |
| Figura 8. Luminosidad de los triplicados de cada formulación de la harina compuesta .....                                           | 28 |
| Figura 9. Variación del color entre rojo y verde de los triplicados de cada formulación de la harina compuesta .....                | 29 |
| Figura 10. Variación del color entre amarillo y azul de los triplicados de cada formulación de la harina compuesta .....            | 29 |
| Figura 11. Croma de los triplicados de cada formulación de la harina compuesta ..                                                   | 29 |
| Figura 12. Tonalidad de los triplicados de cada formulación de la harina compuesta .....                                            | 30 |
| Figura 13. Cambio de color de los triplicados de cada formulación de la harina compuesta .....                                      | 30 |
| Figura 14. Diagrama de radar de valoración de los atributos sensoriales de las muestras 779 y 258 según el género .....             | 32 |
| Figura 15. ANOVA para el modelo de análisis del contenido de humedad .....                                                          | 34 |
| Figura 16. Validación supuesto 1 para el contenido de humedad .....                                                                 | 34 |
| Figura 17a. Validación supuesto 2 para el contenido de humedad .....                                                                | 34 |
| Figura 17b. Validación supuesto 2 para el contenido de humedad .....                                                                | 35 |
| Figura 18. Validación supuesto 3 para el contenido de humedad .....                                                                 | 35 |
| Figura 19. Validación supuesto 4 para el contenido de humedad .....                                                                 | 35 |
| Figura 20. Prueba de comparación múltiples por Tukey para el contenido de humedad con respecto al %Harina de maíz .....             | 36 |
| Figura 21. Prueba de comparación múltiples por Tukey para el contenido de humedad con respecto al %Cáscara de piña .....            | 36 |
| Figura 22. ANOVA para el modelo de análisis del índice de solubilidad en agua (ISA) .....                                           | 37 |
| Figura 23. Validación supuesto 1 para el índice de solubilidad en agua .....                                                        | 37 |
| Figura 24a. Validación supuesto 2 para el índice de solubilidad en agua .....                                                       | 37 |
| Figura 24b. Gráfica de la validación supuesto 2 para el índice de solubilidad en agua .....                                         | 38 |
| Figura 25. Validación supuesto 3 para el índice de solubilidad en agua .....                                                        | 38 |
| Figura 26. Validación supuesto 4 para el índice de solubilidad en agua .....                                                        | 38 |
| Figura 27. Prueba de comparación múltiples por Tukey para índice de solubilidad en agua (ISA) con respecto al %Harina de maíz ..... | 39 |

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 28. Prueba de comparación múltiples por Tukey para índice de solubilidad en agua (ISA) con respecto al %Cáscara de piña ..... | 39 |
| Figura 29. ANOVA para el modelo de análisis del índice de absorción en agua (IAA) .....                                              | 40 |
| Figura 30. Validación supuesto 1 para el índice de absorción en agua .....                                                           | 40 |
| Figura 31a. Validación supuesto 2 para el índice de absorción en agua .....                                                          | 40 |
| Figura 31b. Gráfica de la validación supuesto 2 para el índice de absorción en agua .....                                            | 41 |
| Figura 32. Validación supuesto 3 para el índice de absorción en agua .....                                                           | 41 |
| Figura 33. Validación supuesto 4 para el índice de absorción en agua .....                                                           | 41 |
| Figura 34. Prueba de comparación múltiples por Tukey para índice de absorción en agua (IAA) con respecto al %Harina de maíz .....    | 42 |
| Figura 35. Prueba de comparación múltiples por Tukey para índice de absorción en agua (IAA) con respecto al %Cáscara de piña .....   | 42 |
| Figura 36. ANOVA para el modelo de análisis del %Cenizas .....                                                                       | 43 |
| Figura 37. Validación supuesto 1 para %Cenizas .....                                                                                 | 43 |
| Figura 38a. Validación supuesto 2 para %Cenizas .....                                                                                | 43 |
| Figura 38b. Gráfica de la validación supuesto 2 para %Cenizas .....                                                                  | 44 |
| Figura 39. Validación supuesto 3 para %Cenizas .....                                                                                 | 44 |
| Figura 40. Validación supuesto 4 para %Cenizas .....                                                                                 | 44 |
| Figura 41. Prueba de comparación múltiples por Tukey para %Cenizas con respecto al %Harina de maíz .....                             | 45 |
| Figura 42. Prueba de comparación múltiples por Tukey para %Cenizas respecto al %Cáscara de piña .....                                | 45 |
| Figura 43. ANOVA para el modelo de análisis del %Fibra .....                                                                         | 46 |
| Figura 44. Validación supuesto 1 para %Fibra .....                                                                                   | 46 |
| Figura 45a. Validación supuesto 2 para %Fibra .....                                                                                  | 46 |
| Figura 45b. V Gráfica de la validación supuesto 2 para %Fibra .....                                                                  | 47 |
| Figura 46. Validación supuesto 3 para %Fibra .....                                                                                   | 47 |
| Figura 47. Validación supuesto 4 para %Fibra .....                                                                                   | 47 |
| Figura 48. Prueba de comparación múltiples por Tukey %Fibra con respecto al %Harina de maíz .....                                    | 48 |
| Figura 49. Prueba de comparación múltiples por Tukey para %Fibra con respecto al %Cáscara de piña .....                              | 48 |
| Figura 50. ANOVA para el modelo de análisis del croma .....                                                                          | 49 |
| Figura 51. Validación supuesto 1 para el croma .....                                                                                 | 49 |
| Figura 52a. Validación supuesto 2 para el croma .....                                                                                | 49 |
| Figura 52b. Gráfica de la validación supuesto 2 para el croma .....                                                                  | 50 |
| Figura 53. Validación supuesto 3 para el croma .....                                                                                 | 50 |
| Figura 54. Validación supuesto 4 para el croma .....                                                                                 | 50 |
| Figura 55. Prueba de comparación múltiples por Tukey para el croma con respecto al %Harina de maíz .....                             | 51 |
| Figura 56. Prueba de comparación múltiples por Tukey para el croma con respecto al %Cáscara de piña .....                            | 51 |

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 57. ANOVA para el modelo de análisis del índice de la tonalidad .....                                  | 52 |
| Figura 58. Validación supuesto 1 para la tonalidad .....                                                      | 52 |
| Figura 59a. Validación supuesto 2 para la tonalidad .....                                                     | 52 |
| Figura 59b. Gráfica de la validación supuesto 2 para la tonalidad .....                                       | 53 |
| Figura 60. Validación supuesto 3 para la tonalidad .....                                                      | 53 |
| Figura 61. Validación supuesto 4 para la tonalidad .....                                                      | 53 |
| Figura 62. Prueba de comparación múltiples por Tukey para la tonalidad con respecto al %Harina de maíz .....  | 54 |
| Figura 63. Prueba de comparación múltiples por Tukey para la tonalidad con respecto al %Cáscara de piña ..... | 54 |

## LISTA DE ANEXOS

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura A1. Mufla para incinerar muestras .....                                                                    | 62 |
| Figura A2. Balanza analítica .....                                                                                | 62 |
| Figura A3. Baño maría para (Índices ISA, IAA) .....                                                               | 63 |
| Figura A4. Centrifuga SIGMA .....                                                                                 | 63 |
| Figura A5. Ro- tap y serie de tamices TYLER .....                                                                 | 64 |
| Figura A6. Colorímetro HUNTERLAB .....                                                                            | 64 |
| Figura A7. Encuesta para la evaluación sensorial de la harina compuesta .....                                     | 65 |
| Figura A8. Harina compuesta .....                                                                                 | 65 |
| Tabla A1. Índices de absorción y solubilidad en agua de las diferentes formulaciones de la harina compuesta ..... | 66 |

## 1. INTRODUCCIÓN

La utilización de harina de maíz y fibra de residuos de piña para la vehiculización de especias es una alternativa que dará valor agregado a las especias, haciendo que su función fuera no solo sensorial, sino también nutricional. Las especias si bien aromatizan las preparaciones a las que son agregadas, su efecto más pronunciado se aprecia en el sabor y en la fragancia (Iglesias, 2012); además que tienen comprobadas propiedades funcionales. Se han estudiado las propiedades funcionales de las especias más populares, sin pretender hacer de ellas medicamentos, sino introducirlas en la cadena alimentaria saludable y ayudar a conformar una despensa más sana (Zudaire, 2011). Por ejemplo, el comino es conocido por ser antiséptico y por su capacidad bactericida (Ryman, 1991) y la pimienta brinda sabor picante y una sensación “caliente” (Hirasa, *et al.*, 2002).

El uso de la harina de maíz reduce costos en materia prima y aporta calorías, lo que favorecerá cierta población en necesidad de estas. También, debido a que ésta no es panificable, se ampliaría su uso mediante esta aplicación; además, al no contener gluten (conjunto de proteínas presentes en el trigo, avena, cebada y centeno (Guinand, 2013)), sería adecuada para personas con enfermedad celíaca (Arguinzones, 2009). La celiaquía no tiene cura, la única forma de controlarla es en la alimentación. La dieta debe seguirse estrictamente durante toda la vida. Pequeñas ingestas de gluten pueden producir lesión de la mucosa intestinal (Guinand, 2013). Es por ello que surge la opción de desarrollar nuevos productos sin esta proteína, o más conocidos como libres de gluten.

La gran cantidad de residuos que se generan por la industria hortofrutícola (empresas elaboradoras de jugos de frutas, frutas deshidratadas, mermeladas, pulpas de frutas, helados a base de frutas, entre otras), varía de acuerdo a la producción de la empresa, pero casi siempre estos son destinados a los basureros, sin sacar provecho de ellos. Según Avella, *et al.*, a partir de la revisión documentaria que define los pesos promedios de cada parte de la planta de piña, se definen las siguientes producciones de biomasa por hectárea de cultivo: para la cáscara, peso promedio (kg): 0.615, unidad por hectárea: 50000 y producción (Ton/Ha) es de 30.75. Existen básicamente tres grupos de tecnologías para la recuperación de recursos: la valoración biológica y química, la obtención de comestibles (derivados de desechos) y la valoración térmica (Yepes, *et al.*, 2008). Actualmente se ha visto que las cáscaras de frutas pueden ser incorporadas en la dieta debido a la gran cantidad de fibra que contienen y poca cantidad de grasa. En el caso de la cáscara de piña, es una buena fuente de fibra dietaria, la cual tiene actividad antioxidante, además presenta propiedades de sabor y color neutro, lo que la hace apropiada para mejorar la aceptabilidad de un producto cuando es usada como suplemento de fibra dietaria (Cañas, *et al.*, 2011).

El aprovechamiento de los residuos de piña como fuente de fibra dietaria y la harina de maíz como aditivo alimentario, para la vehiculización de dos especias, permitió el

desarrollo de un producto estable. Usado en la cocción de alimentos como un saborizante (adobo), cuyas aplicaciones van desde la preparación de sopas, aliños de carnes hasta ensaladas, brindando al alimento características organolépticas importantes como sabor, aroma y textura, además propiedades funcionales al contener fibra dietaria y propiedades antioxidantes, que ayudan a la salud humana. La norma que regula este tipo de productos es la NTC 4423-Especias y condimentos.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 FIBRA

La fibra dietaria se encuentra principalmente en las paredes de las células vegetales y ha sido definida por la Asociación Americana de la Química de los Cereales como la parte comestible de las plantas o carbohidratos análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con una completa o parcial fermentación en el intestino grueso (Cañas, *et al.*, 2011).

Se ha confirmado que la fibra dietética presente en las frutas y vegetales tiene efectos positivos importantes en la salud en virtud de sus propiedades. Numerosos estudios de los últimos años revelan que muchas de las enfermedades importantes en salud pública, incluyendo obesidad, enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2, pueden ser prevenidas y tratadas por el incremento en las cantidades y variedad de fibra que contienen los alimentos en la dieta. La fibra dietética no solo incluye una variedad de compuestos estructurales de la pared celular tales como la pectina, hemicelulosa, celulosa y lignina, sino que además incluye algunos compuestos no estructurales como gomas y mucílagos, así como también aditivos industriales (celulosa modificada, gomas comerciales y polisacáridos de algas), que influyen en las propiedades de hidratación de la fibra dietética (Ramírez, *et al.*, 2009).

La búsqueda de nuevas fuentes de fibra a partir de frutos y sus residuos, ha llevado al desarrollo de procedimientos para su obtención y conservación, en los que se incluyen el lavado, trituración o despulpado, secado, molienda y envasado. Hoy en día la fibra dietética tiene una posición clara como ingrediente funcional en la elaboración de productos alimenticios (Chávez, *et al.*, 2009). En la última década, las frutas y hortalizas han recibido mucha atención como fuentes de sustancias biológicamente activas. Los concentrados de fibra dietaria procedentes de frutas y hortalizas tienen buenas cualidades nutricionales, pudiendo ser usados en la industria de alimentos como ingredientes funcionales con excelentes resultados (Cañas, *et al.*, 2011).

Algunos subproductos del procesamiento industrial de frutas han sido clasificados como fuentes de fibra. En la cáscara de piña se ha encontrado valores de fibra dietética de 70,6%, asociada a un elevado contenido de miricetina, principal polifenol identificado y que puede ser el responsable de la actividad antioxidante encontrada en este subproducto (Ramírez, *et al.*, 2009).

### 2.2 ESPECIAS

La definición del término *especia*, varía según los países o regiones del mundo. Las especias a veces se definen según donde se cultiven o si están secas o húmedas (Barrera, *et al.*, 2008). Las especias provienen de las partes duras de las plantas, generalmente y en su mayoría, son semillas (mostaza, anís, pimienta, etc.), pero también pueden ser cortezas como en el caso de la canela o raíces, como el jengibre (Iglesias,

2012). Las especias aromatizantes de origen vegetal, son ricas en aceites esenciales y logran que productos insípidos o desagradables, pero nutritivos e importantes en la dieta, sean sabrosos sin perder sus propiedades. (Zudaire, 2011). Las propiedades antimicrobianas de las especias se han conocido durante siglos. Por ejemplo, la canela, el comino y el tomillo se emplearon en la momificación en el antiguo Egipto y las especias de la antigua India y China eran empleadas para conservar alimentos, así como también tenían fines medicinales (Barrera, *et al.*, 2008).

### 2.2.1 COMINO

El comino es una especia de origen Egipcio, proveniente de una planta cuyo único uso radica en la producción de las semillas que constituyen esta especia (Ryman, 1991); el aporte del comino es principalmente aromático. Las propiedades del comino se deben a un compuesto activo, el aldehído cumínico o cuminal por lo que es considerado un tónico estomacal, aperitivo y estimulante del peristaltismo intestinal, por lo que abre el apetito, estimula la digestión y facilita la evacuación. Además, posee propiedades carminativas, que eliminan, alivian o previenen los molestos síntomas de la aerofagia, contribuyendo a la desaparición de los gases intestinales y haciendo que las digestiones sean menos molestas (Sin autor, 2008).

En la tabla 1, se encuentra la composición del comino en forma natural:

**Tabla 1. Características de composición del comino en forma natural (Fuente: NTC 4423).**

| Especias | Humedad,<br>% m/m<br>máx. | Cenizas,<br>% m/m<br>máx. | Cenizas<br>insolubles<br>en HCl, %<br>m/m máx. | Aceite<br>volátil %<br>m/m min | Fibra<br>bruta,<br>%m/m<br>min | Extracto<br>etéreo<br>fijo,<br>%m/m<br>min |
|----------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|
| Comino   | 14                        | 15                        | 5                                              | 1,5                            | 30                             | 15                                         |

### 2.2.2 PIMIENTA

El fruto molido de la planta pimentera, la pimienta, alivia dolores articulares, se puede intercambiar por sal, reduciendo el consumo de sodio significativamente (Zudaire, 2011). El principal componente responsable del picante en la pimienta es la piperina, un alcaloide que representa el 98% del contenido total de alcaloides en la especia. La función antimicrobiana de la pimienta se ha probado por el efecto inhibidor que tiene sobre la bacteria *Clostridium botulinum* (Hirasa, *et al.*, 2002), aunque también tiene una carga microbiana alta (hasta de  $4 \times 10^7$  microorganismos por gramo) en recuentos totales en placa, entre cuyos organismos está *Aspergillus*, *Penicillium* y *Salmonella* (Tainter, *et al.*, 1996).

En la tabla 2, se encuentra la composición del comino en forma natural:

**Tabla 2. Características de composición de la pimienta en forma natural (Fuente: NTC 4423).**

| <b>Espicias</b>   | <b>Humedad,<br/>% m/m<br/>máx.</b> | <b>Cenizas,<br/>% m/m<br/>máx.</b> | <b>Cenizas<br/>insolubles<br/>en HCl, %<br/>m/m máx.</b> | <b>Aceite<br/>volátil %<br/>m/m min</b> | <b>Fibra<br/>bruta,<br/>%m/m<br/>min</b> | <b>Extracto<br/>etéreo<br/>fijo,<br/>%m/m<br/>min</b> |
|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Pimienta<br>negra | 14                                 | 7                                  | 1,5                                                      | 0,5                                     | 17,5                                     | 6,0                                                   |

## **2.3 MAÍZ**

El maíz es un cereal importante, originario del hemisferio occidental (Nativo de México). El cual después del descubrimiento de América, se diseminó rápidamente a Europa, África y Asia. A nivel mundial este cereal es una de las mayores fuentes de alimento humano y animal. Su componente mayoritario es el almidón, el cual permite el control de la textura de varios productos alimenticios. El papel del almidón durante la cocción es enlazar el agua y crear una estructura permeable a los gases; una vez alcanzada una alta temperatura de cocción, los granos de almidón se hinchan irreversiblemente por la absorción de agua. La temperatura necesaria, llamada la temperatura de gelatinización, es un parámetro característico para cada almidón. Los enlaces de hidrógeno intermoleculares se rompen, y los grupos hidroxilo liberados son inmediatamente hidratados. La relación especial de los grupos hidroxilo del agua es la base de la gelatinización (Guinand, 2013).

### **2.3.1 HARINA DE MAÍZ**

Se entiende por harina de maíz al polvo fino que se obtiene moliendo el cereal mediante diferentes métodos. Puede ser integral, con un característico color amarillo, o refinada en cuyo caso es de color blanco. Puede producir 3500 Kcal de energía digestible por kilogramo de materia seca, porque posee gran cantidad de grasa y de ácido linoléico (Barrera, *et al.*, 2008). La harina de maíz tiene similar aporte calórico que la harina de trigo pero posee mayor aporte de grasas saludables, entre los que destacan los ácidos grasos poliinsaturados. Su porcentaje de fibra es muy superior, como también su contenido en vitaminas del complejo B, por lo que la polenta (receta originaria del norte de Italia, se obtiene cociendo harina de maíz en agua, formando una papilla) es una alternativa rica en nutrientes para incorporar en la dieta.

Destaca en la harina de maíz su contenido en vitamina A y carotenos, así como el aporte en ácido fólico. Es un alimento rico en magnesio, calcio y potasio y dado que su contenido en fibra es elevado y se elabora mediante la hidratación de la harina con agua, aporta gran saciedad y puede ser aún más llenadora que la harina de trigo que se usa

habitualmente en la cocina. Además, no contiene gluten y es apta para celíacos (Guinand, 2013).

## **2.4 SAZONADORES, CONDIMENTOS, ADOBOS O ALIÑOS**

Son productos constituidos por una o más especias u oleorresinas (esencias de las especias), mezcladas con otras sustancias alimenticias, mezcladas con otras sustancias alimenticias, para mejorar y realzar el sabor, color y aroma de los alimentos. Las especias como hojas, semillas, bulbos, flores y frutos se someten a procesos de secado y molienda para ser conservados en polvo. La vida útil de las especias molidas aumenta en ausencia de aire, a una humedad relativa del 60% como máximo y a una temperatura de 20°C, ya que bajo condiciones extremas pierden rápidamente su aroma (Rosero, *et al*, 2012).

## **2.5 MOLIENDA**

El grado de finura con que llegan los granos de maíz al consumidor depende de los métodos de molienda, y van desde aquellos métodos simples como el uso de morteros de piedra o de madera, hasta el uso de molinos de agua o mecánicos accionados por un motor o hasta una fábrica mayor dotada de maquinaria compleja. El método y grado de elaboración de molienda influye en el valor nutritivo del maíz, esto es evidente, si se tiene en cuenta que en la gran industria molinera, frecuentemente se desintegra el grano separándolo con sus distintas partes (IICA, 1991).

Se señalan hasta dos modalidades en la molienda comercial:

- Molienda húmeda: Aquella en la que la materia molida no se criba, ni se cierne para eliminar partículas del germen o pericarpio. El germen se deja en la harina y su presencia aumenta la calidad nutritiva y el sabor del producto. Se usa principalmente para separar el almidón de la proteína.
- Molienda seca: Por este sistema, el grano se va reduciendo gradualmente en forma tal, que queden intactas varias partículas en la envoltura (salvado) y del germen, asegurándose la completa y más fácil separación del endosperma, de las partículas blandas de las duras y córneas (PROCIANDINO, 1991).

La molienda seca de las especias (pimienta y comino) y cáscara de piña es análoga a la del maíz.

## **2.6 SECADO**

Se refiere a la eliminación de agua de los materiales de proceso y de otras sustancias. El término secado se usa también con referencia a la eliminación de otros líquidos orgánicos, como benceno o disolventes orgánicos, de los materiales sólidos. En general, el secado significa la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas de cierto

material. En este caso, el agua casi siempre se elimina en forma de vapor con aire (Geankoplis, 1998).

### 3. ANTECEDENTES

Las dos porciones no comestibles de frutas en estado fresco son las semillas, las pieles o las cáscaras, estas han sido bastante estudiadas con el propósito de extraer de ellas sustancias valiosas, o en los casos más simples emplearlas como integrante adicional del producto principal que es la pulpa. En esta última función tiene más aplicabilidad la fracción cáscara por poseer elementos más interesantes en cuanto a textura y sabor, que las semillas. De esta forma, se han elaborado mermeladas concentradas a partir de cáscaras de mango, de residuos de fresas, y de modo más sofisticado, se ha preferido en los últimos años adicionar las cáscaras o los residuos de manera deshidratada molida a productos principales; ejemplo de estos estudios son la obtención de fibra dietética a partir de residuos de frutas y algunas leguminosas (Cerezal, *et al.*, 2005).

Los cereales han sido fuente tradicional de fibra, aunque últimamente se están usando las frutas y hortalizas como otra opción para fortificar alimentos al contener ese compuesto. La característica más relevante de estas fuentes es su gran disponibilidad y bajo costo, pues muchas de ellas son subproductos agroindustriales que representan un problema de contaminación; sin embargo, existe un considerable interés por la industria de alimentos en el aprovechamiento de estos residuos, recuperando una valiosa biomasa y diversos nutrientes. El uso de fibra dietética proveniente de nuevas fuentes no está actualmente explotado en todas sus capacidades y la posibilidad de modificarlas mediante tratamientos químicos, enzimáticos y físicos seguramente ampliará sus campos de aplicación (Cañas, *et al.*, 2011).

Entre los antecedentes se han encontrado estudios donde:

- La harina del camarón es el desperdicio de camarón seco molido, con buenas características de conservación, que se obtiene a partir de cabezas, abdomen o el camarón entero, según las características químicas del producto. Con ella se elabora un sazónador a base de harinas de cabezas de camarón de cultivo (*Penaeus sp*) mediante un proceso de mezclado a pequeña escala, realizado en el Instituto de Ciencia y Tecnología Alimentaria, Medellín, con el fin de proporcionar una alternativa para darles valor agregado a los subproductos de empresas camaroneras (Andrade, *et al.*, 2007). Los ingredientes del sazónador fueron: harina de cabezas de camarón, condimentos, limón en polvo, glutamato monosódico, potenciador I + G, sal refinada, cebolla en polvo, ácido ascórbico, pyrosil, cúrcuma y harina de arroz.
- La fibra dietaria de piña ha sido empleada en forma efectiva en la producción de compuestos fenólicos a partir de la fermentación de la pulpa con el hongo *Rhizopus oligosporus*, en la extracción de sus contenidos nativos y en la fabricación de primeros biodegradables para empaques (Cañas, *et al.*, 2011).
- Actualmente, debido a la demanda del consumidor por obtener alimentos libres de químicos se ha vuelto la mirada a productos naturales que posean la misma

actividad biológica; dentro de estos productos naturales están los aceites esenciales con un amplio campo de acción en la industria de alimentos como antioxidantes y antimicrobianos. Conociendo el poder del aceite esencial de orégano, nace la posibilidad de utilizar este aceite esencial como sustituto de antibióticos en la elaboración de concentrados para alimentación animal (Barrera, *et al.*, 2012).

- El Departamento de Nutrición y Calidad, en la Estación Experimental Santa Catalina (INIAP), ejecutó un proyecto destinado a rescatar e incentivar el consumo de amaranto en el Ecuador, y uno de las alternativas fue desarrollar un sazónador a base de amaranto reventado y maní tostado, por lo que en este trabajo se evaluó la estabilidad en el almacenamiento del sazónador, empacado en dos empaques diferentes y a dos condiciones de almacenamiento, analizando el índice de peróxidos (Rosero, *et al.*, 2012). Los aliños empleados en el estudio fueron: cebolla, ajo, ají, pimentón, cilantro, orégano, comino y sal.
- Los residuos que quedan luego de extraer el jugo de piña pueden utilizarse en productos deshidratados como galletas. Se ha evaluado como ingrediente para enriquecer el contenido de fibra de diferentes productos horneados, logrando sustituciones de harina de trigo de 10, 20 y 30% en la formulación de quequitos tipo muffin. (Vindas, 2014).

#### 4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad el alto desarrollo de la industria conlleva a la generación de residuos, de igual forma que al perfeccionamiento e implementación de nuevas técnicas o métodos para el aprovechamiento de éstos. Sin embargo, la mayoría de este tipo de industrias no tiene algún plan para estos residuos, debido al alto costo de su reutilización y por el contrario, los ubican junto con la basura en los vertederos o rellenos sanitarios. Por ejemplo, en el país el manejo de los residuos sólidos se ha hecho históricamente en función de la prestación del servicio de aseo, pero cada vez más la capacidad de los rellenos sanitarios se ha venido reduciendo, como es el caso del cierre del Relleno Sanitario de la Curva de Rodas en Medellín ocurrido el 31 Agosto de 2002 (Cardona, 2002). Esto obliga a que la recuperación de estos recursos deba ser inmediata. Debido a esta problemática se creó la denominada Política para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos en el país (leyes 99 de 1993 y 142 de 1994) (Yepes, *et al.*, 2008).

Como es conocido, la actividad agroindustrial genera una gran cantidad de lo que hasta ahora se ha declarado como desechos (aproximadamente 1600 kilos/mes), con importantes impactos desfavorables al ambiente, tales como la generación de plagas, la contaminación de aguas, los malos olores, entre otros. Ante esta preocupación por los impactos al ambiente y la presión competitiva cada vez mayor en las industrias alimenticias y las nuevas demandas del consumidor, se ha despertado el interés por aprovechar lo que se había considerado desecho y enfocarlo como un residuo aprovechable para la producción de nuevos productos funcionales que contengan fibra, antioxidantes u otros componentes importantes para mantener una buena salud.

La necesidad en el mercado de un “todo en uno” aumenta y con ello, las posibilidades de desarrollo de nuevos productos. Generalmente las especias con presentación en polvo son vehiculizadas con harina de trigo, siendo un factor negativo para las personas intolerantes a su proteína (gluten). Además las especias tienden a ofrecer aspectos de aromatización, intensificación en el sabor y antisépticos, pero pocas veces aportan aspectos nutricionales. Obligando así, al mercado de alimentos a ofrecer productos combinados de fibra, únicamente como complemento nutricional (Flórez, *et al.*, 2006).

## 5. JUSTIFICACIÓN

La industria de alimentos produce grandes cantidades de residuos que pueden ser aprovechados de diversas formas. Entre estos residuos se encuentran los provenientes de las frutas, los cuales pueden ser utilizados en alimentación animal y humana, abonos, obtención de biogás, en la extracción de aceites esenciales, pectinas, flavonoides, entre otros. Para la elección adecuada de alguna de estas tecnologías se deben realizar evaluaciones tecnológicas, comerciales y de riesgos (Yepes, *et al.*, 2008).

Para diversificar el mercado de los condimentos y usar los subproductos de la industria frutícola, se tendría que mezclar la fibra de residuos de piña (cáscara), la harina de maíz con las especias (pimienta y comino), dando como resultado un buen sazónador con aporte nutricional para las preparaciones de alimentos que además aprovecharían los residuos generados en la transformación de ellos.

En el mundo actual hay una creciente demanda por alimentos sin gluten y de fácil conservación; siendo responsabilidad de la industria alimentaria, desarrollar productos que satisfagan las necesidades del consumidor. Se cree que combinando cuatro elementos, harina de maíz (*Zea mays*) variedad pergamino, pimienta negra molida (*Piper nigrum*), comino molido (*Cuminum cyminum*) y fibra a partir de cáscara de piña, se logrará un producto nuevo que disminuiría la carga contaminante causada por los residuos del procesamiento de la piña, el uso de la harina de maíz favorecería a personas con enfermedad celiaca debido a que sería un condimento en polvo que no contiene entre sus componentes gluten (proveniente de la harina de trigo que se usa generalmente en las especias que venden molidas), y además aportaría energía, proteínas y micronutrientes, para desarrollar múltiples funciones. El objetivo de la adición de las especias sería principalmente saborizante, aromatizante y nutricional.

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1 OBJETIVO GENERAL**

- Elaborar un sazónador a partir de harina de maíz y de residuos de piña.

### **6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Seleccionar y caracterizar materias primas de maíz, fibra de residuos piña y dos especias para producir un sazónador.
- Evaluar algunas características fisicoquímicas y sensoriales de la harina compuesta obtenida.

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS

### 7.1 MATERIALES Y EQUIPOS

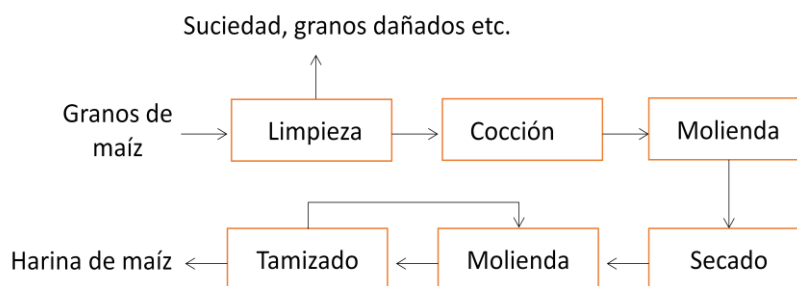
- Granos de maíz variedad pergamino
- Especias enteras (Pimienta negra y comino)
- Residuos de piña (Cáscara)
- Molino de bolas y discos.
- Ro-tap Model RX-29 y series de tamices Tyler
- Estufa HERATHERM Thermo SCIENTIFIC
- Estufa LABCONCO
- Estufa CORNING PC-600D
- Escaldador
- Olla presión
- Licuadora industrial
- Tela dacrón
- Baño termostático Lab Companion BW-20H
- Colorímetro Hunter lab
- Mufla Thermokyne Type 48000 Furnace
- Centrifuga Sigma 2-15 Bioblock scientific
- Balanza analítica Mettler AE 200

En los anexos se encuentra las imágenes de algunos equipos usados (Figura A1-A6).

### 7.2 MÉTODOS

#### 7.2.1 Obtención de la harina de maíz

En la figura 1 se observa el proceso de elaboración de la harina de maíz:



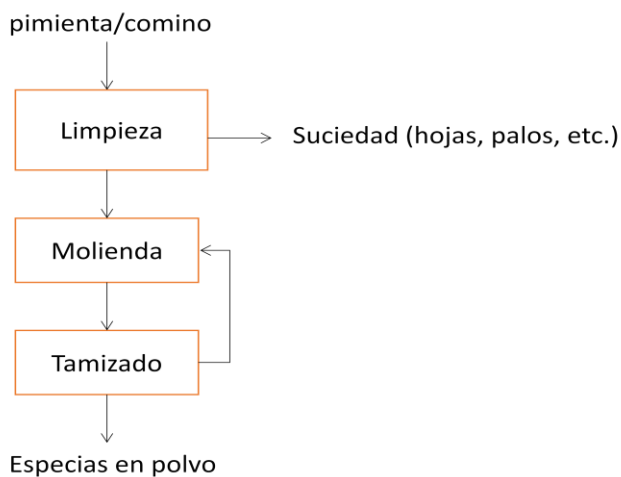
**Figura 1. Diagrama de bloques de la elaboración de harina de maíz.**

Las condiciones de la elaboración de la harina de maíz fueron: la etapa de cocción fue en una olla presión durante 1 hora, la molienda con ayuda de un molino de discos (Molino corona) y molino de bolas. El porcentaje de humedad para molienda fue de 33,98% bh. En el secado en un horno a 60°C (Porcentaje de humedad de la harina después de

secado 7,27% bh), y el tamizado en un Ro-tap, hasta lograr partículas inferiores de 0,25 mm.

### 7.2.2 Obtención de las especias en polvo

En la figura 2 se ilustra el proceso de realización de las especias en polvo:

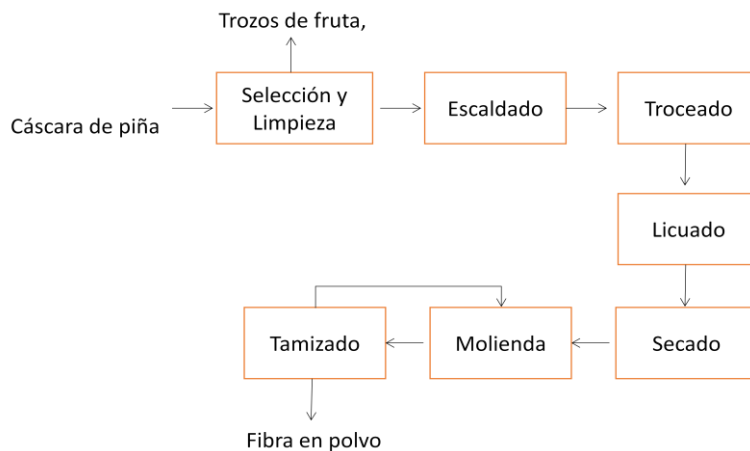


**Figura 2. Diagrama de bloques de la obtención del comino y pimienta negra en polvo.**

La molienda de las especias se realizó en un molino de bolas, en forma separada, y su tamizado en el Ro-tap, logrando un tamaño de partícula similar al de la harina de maíz.

### 7.2.3 Extracción de la fibra de la cáscara de piña

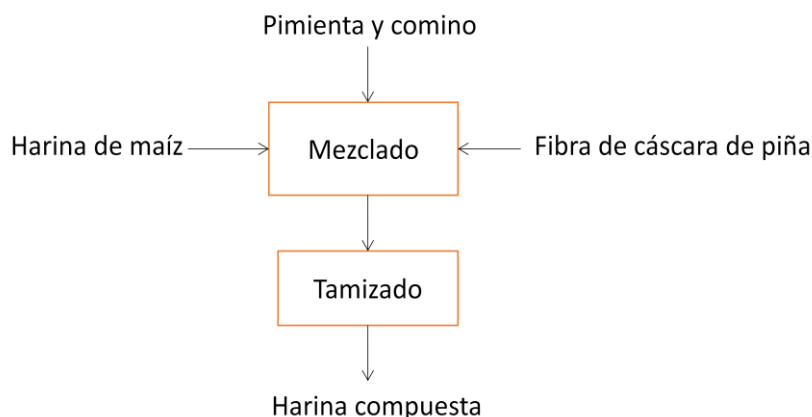
En la figura 3 se visualiza el proceso para la obtención de la fibra de cáscara de piña:



**Figura 3. Diagrama de bloques de la elaboración de la fibra de cáscara de piña en polvo.**

La cáscara de piña fue suministrada por la empresa FRUTIDELICIAS & CIA SAS (su producción es de 4 a 5 toneladas al mes; la piña tiene un rendimiento del 60%, siendo el 40% residuos, aproximadamente 2000-1600 kg), se escaldó con vapor a 80°C durante 20 min en un escaldador u olla presión, se licuo en un litro en adición de agua. Finalmente, se secó la harina en un horno (Porcentaje de humedad: 4,55 bh) y se sometió a molienda dos veces en un molino de discos. En el tamizado el tamaño de partícula fue acorde al de las otras harinas.

## 7.2.4 Mezcla de componentes



**Figura 4. Diagrama de bloques de la mezcla de componentes.**

El mezclado de las materias primas se llevó a cabo en base al diseño de experimentos. Después de obtener la mezcla o *sazonador*, se realizaron los análisis fisicoquímicos y sensoriales correspondientes, enunciados posteriormente.

## 7.2.5 Diseño experimental

Se trabajó con un diseño experimental factorial  $3^2$  aleatorizado, con dos factores (porcentaje de harina de maíz y fibra de cáscara de piña) y tres niveles cada uno (alto (+1), medio (0) y bajo (-1)), como se muestra en la tabla 3:

**Tabla 3. Diseño de experimentos  $3^2$  aleatorizado.**

| FACTORES                      | NIVELES                      |                              |                              |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                               | ALTO (+1)                    | MEDIO (0)                    | BAJO (-1)                    |
| Porcentaje de harina de maíz  | 54% ( <b>H<sub>1</sub></b> ) | 50% ( <b>H<sub>2</sub></b> ) | 46% ( <b>H<sub>3</sub></b> ) |
| Porcentaje de cáscara de piña | 17% ( <b>C<sub>1</sub></b> ) | 13% ( <b>C<sub>2</sub></b> ) | 8% ( <b>C<sub>3</sub></b> )  |

Las variables de respuesta están relacionadas con los análisis fisicoquímicos.

De acuerdo a la aleatorización del diseño de experimentos, se obtuvo la combinación de los tratamientos, esquematizada en la tabla 4:

**Tabla 4. Combinaciones de tratamientos del diseño experimental.**

|                            | <b>H<sub>1</sub> (54%)</b>          | <b>H<sub>2</sub> (50%)</b>          | <b>H<sub>3</sub> (46%)</b>          |
|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>C<sub>1</sub> (17%)</b> | H <sub>1</sub> C <sub>1</sub> (71%) | H <sub>2</sub> C <sub>1</sub> (67%) | H <sub>3</sub> C <sub>1</sub> (63%) |
| <b>C<sub>2</sub> (13%)</b> | H <sub>1</sub> C <sub>2</sub> (67%) | H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> (63%) | H <sub>3</sub> C <sub>2</sub> (59%) |
| <b>C<sub>3</sub> (8%)</b>  | H <sub>1</sub> C <sub>3</sub> (62%) | H <sub>2</sub> C <sub>3</sub> (58%) | H <sub>3</sub> C <sub>3</sub> (54%) |

Con base a lo anterior y teniendo en cuenta la composición total de la mezcla (100%), se obtuvo el porcentaje de especias representadas en la tabla 5:

**Tabla 5. Porcentajes de especias en las diferentes formulaciones.**

| <b>Factor</b>                 | <b>E<sub>1</sub></b> | <b>E<sub>2</sub></b> | <b>E<sub>3</sub></b> | <b>E<sub>4</sub></b> | <b>E<sub>5</sub></b> | <b>E<sub>6</sub></b> | <b>E<sub>7</sub></b> |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <b>Porcentaje de especias</b> | 29%                  | 33%                  | 37%                  | 38%                  | 41%                  | 42%                  | 46%                  |

Obteniendo en la tabla 6, las diferentes combinaciones de las formulaciones de la harina compuesta:

**Tabla 6. Formulaciones a partir del diseño de experimentos.**

| <b>Formulaciones</b>                              | <b>% Harina de maíz</b> | <b>% Cáscara de piña</b> | <b>% Especias</b> |
|---------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------|
| <b>1. H<sub>3</sub>C<sub>3</sub>E<sub>7</sub></b> | 46                      | 8                        | 46                |
| <b>2. H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>E<sub>3</sub></b> | 50                      | 13                       | 37                |
| <b>3. H<sub>1</sub>C<sub>1</sub>E<sub>1</sub></b> | 54                      | 17                       | 29                |
| <b>4. H<sub>1</sub>C<sub>3</sub>E<sub>4</sub></b> | 54                      | 8                        | 38                |
| <b>5. H<sub>2</sub>C<sub>1</sub>E<sub>2</sub></b> | 50                      | 17                       | 33                |
| <b>6. H<sub>2</sub>C<sub>3</sub>E<sub>6</sub></b> | 50                      | 8                        | 42                |
| <b>7. H<sub>3</sub>C<sub>1</sub>E<sub>3</sub></b> | 46                      | 17                       | 37                |
| <b>8. H<sub>3</sub>C<sub>2</sub>E<sub>5</sub></b> | 46                      | 13                       | 41                |
| <b>9. H<sub>1</sub>C<sub>2</sub>E<sub>2</sub></b> | 54                      | 13                       | 33                |

Con los anteriores porcentajes y el peso total de cada formulación (60 g), se obtuvo las cantidades representadas en la tabla 7:

**Tabla 7. Cantidades de los ingredientes de cada formulación.**

| <b>Formulaciones</b>                              | <b>Peso harina de maíz (g)</b> | <b>Peso cáscara de piña (g)</b> | <b>Peso especias (g)</b> |
|---------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| <b>1. H<sub>3</sub>C<sub>3</sub>E<sub>7</sub></b> | 27,6                           | 4,8                             | 27,6                     |
| <b>2. H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>E<sub>3</sub></b> | 30                             | 7,8                             | 22,2                     |
| <b>3. H<sub>1</sub>C<sub>1</sub>E<sub>1</sub></b> | 32,4                           | 10,2                            | 17,4                     |

|                |      |      |      |
|----------------|------|------|------|
| 4. $H_1C_3E_4$ | 32,4 | 4,8  | 22,8 |
| 5. $H_2C_1E_2$ | 30   | 10,2 | 19,8 |
| 6. $H_2C_3E_6$ | 30   | 4,8  | 25,2 |
| 7. $H_3C_1E_3$ | 27,6 | 10,2 | 22,2 |
| 8. $H_3C_2E_5$ | 27,6 | 7,8  | 24,6 |
| 9. $H_1C_2E_2$ | 32,4 | 7,8  | 19,8 |

El peso de las especias fue distribuido entre mitad de comino y la otra mitad pimienta. Además fueron realizadas repeticiones en triplicado, para un total de 27 muestras.

## 7.2.6 Análisis físicoquímicos de la harina compuesta

### 7.2.6.1 Determinación del contenido de humedad

El método se basa en el secado de la muestra en un horno y su determinación es dada por la diferencia de peso entre el material seco y húmedo, como se indica en la ecuación 1. Para ello, se pesó alrededor de 5-10 g de la harina, después se colocó la muestra en un horno a 50°C por 24 h, pasado el tiempo, se dejó enfriar en un desecador y se pesó nuevamente la muestra (Olvera, *et al.*, 1993).

$$\%Humedad (bh) = \frac{Pi - Pf}{Pi} * 100 \quad (1)$$

Donde,  $Pi$  es el peso inicial de la muestra y  $Pf$  es el peso final de la muestra.

### 7.2.6.2 Determinación de cenizas

Se colocaron 9 crisoles en una mufla (Ver equipo en anexos figura A1) a una temperatura de 550°C durante 30 minutos, después se enfriaron los crisoles en un desecador y se pesaron. Luego se pesó 1 g de muestra de cada formulación y se colocaron en la estufa a fuego lento hasta que no hubo generación de humos, posteriormente se pasaron a la mufla, hasta que se obtuvo cenizas blancas (Leslie, *et al.*, 1971).. Se retiraron los crisoles de la mufla, se colocaron en el desecador y se pesaron. Con ayuda de la ecuación 2, se calcula el porcentaje de cenizas:

$$\% cenizas = \frac{Cc - Cv}{Cm - Cv} * 100 \quad (2)$$

Donde,  $Cc$  es el crisol con las cenizas,  $Cv$  es el crisol vacío,  $Cm$  es el crisol con la muestra inicial.

### 7.2.6.3 Determinación de fibra

Se colocó 2 g de muestra de cada formulación dentro de un beaker que contenía 250 mL de  $H_2SO_4$  al 1.25% caliente, luego se dejó hervir, manteniendo el beaker tapado con un

vidrio de reloj durante media hora (en caso de evaporación del líquido, se adicionó agua destilada con frasco lavador para arrastrar la muestra al fondo del beaker, para que permaneciera el volumen constante). Después se filtró la solución sobre tela dacrón, se lavó el residuo sólido con 1 L de agua caliente para obtener un residuo neutro y se pasó el sólido a un beaker que contenía 250 mL de NaOH caliente al 1.15%, se dejó hervir media hora, se filtró y se lavó hasta obtener residuo neutro. Posteriormente, se pasó el residuo sólido a un crisol de porcelana, se secó la muestra durante 24 horas a 105°C, se enfrió en un desecador y se pesó. Por último, se llevó el crisol a la mufla, se incineró a 550°C durante 24 horas, se enfrió en desecador y se pesó (Leslie, *et al.*, 1971). El porcentaje de fibra se calcula con la ecuación 3:

$$\% \text{ fibra} = \frac{P1-P2}{w} * 100 \quad (3)$$

Donde,  $P1$  es el peso del crisol más la muestra en la estufa (24 hrs),  $P2$  es el peso del crisol más la muestra en la mufla (48 hrs) y  $w$  es el peso de muestra inicial.

#### **7.2.6.4 Determinación del índice de absorción y de solubilidad en agua (IAA+ISA), poder de hinchamiento (PH)**

El índice de solubilidad en agua (ISA) es la cantidad de materia seca recuperada después de evaporar el sobrenadante de la determinación de la adsorción de agua y el índice de absorción de agua (IAA) es el peso del gel obtenido por gramo de muestra seca, el cual originalmente fue desarrollado como una medida de esponjamiento o hinchamiento del almidón (Linko, *et al.*, 1981). Para la determinación de los índices, se pesaron 1,25 g de la mezcla en base seca en un tubo de centrifuga previamente pesado en una balanza analítica (ver equipo en anexos figura A2), se adicionaron 30 mL de agua destilada y se colocó en baño maría a 60°C durante 30 min con agitación constante (Ver equipo en anexos Figura A3); se centrifugó a 4900 rpm durante 30 min (Ver equipo en anexos Figura A4), transcurrido este tiempo se decantó el sobrenadante, se midió su volumen, y se tomó una alícuota de 10 mL depositada en una caja petri previamente pesada, se llevó a estufa a 70°C durante 24 h, luego de este tiempo se pesó nuevamente para determinar el peso de solubles. El gel en el tubo se pesó (Páez, 2012). La determinación del índice de absorción de agua I.A.A y de solubilidad en agua I.S.A, se realizó con las ecuaciones 4-5, respectivamente, con la ecuación 6 se determinó el poder de hinchamiento :

$$I.A.A = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g)bs}} \quad (4)$$

$$I.S.A = \frac{\text{Peso solubles (g)} \times \text{Volumen} \times 10}{\text{Peso muestra (g)bs}} \quad (5)$$

$$P.H = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g) bs-Peso solubles (g)}} \quad (6)$$

### 7.2.6.5 Granulometría de las harinas

El procedimiento se realizó con 100 g de muestra de cada una de las materias primas y la mezcla de ellas, estas se tamizaron durante 10 minutos en el equipo Ro-Tap (Ver equipo en anexos figura A5) con una serie de tamices Tyler; con el fin de identificar el tamaño de partícula de la harina. Con base en ello se determinó el módulo de fineza, el diámetro promedio, índice de uniformidad y la desviación geométrica estándar.

#### 7.2.6.5.1 Módulo de fineza ( $MF$ )

Indica la uniformidad de la molienda. Se utiliza para obtener el tamaño promedio de las partículas. Cuando  $MF$  es alto, el material es grueso, medio y fino, y si es cero, el material es fino (Aguinaga, 1996).

El módulo de fineza se calcula por medio de la ecuación 6:

$$MF = \frac{\sum_{i=0}^n f_i w_i}{\sum w_i} \quad (6)$$

Donde,  $f_i$  es el factor de ponderación igual a  $i$  (0, 1, 2,...n),  $MF$  es modulo de fineza (adimensional), y  $W_i$  es la fracción o porcentaje de peso retenido en cada tamiz.

#### 7.2.6.5.2 Diámetro promedio ( $D$ )

El diámetro medio de una fracción es aquel que pasa un tamiz dado, pero es retenida por el siguiente más pequeño de la serie (Brennan, *et al.*, 1980). Este se calcula con la ecuación 7:

$$D = 0.1046 * (2.0)^{MF} \quad (7)$$

Donde,  $D$  es el diámetro promedio de las partículas (mm) y  $MF$  es el módulo de fineza (adimensional).

#### 7.2.6.5.3 Determinación del parámetro de color

Existen diferentes métodos para determinar el color, el más común es el sistema CIElab. Para ello se utilizó un Colorímetro Tri-estimulus Hunter Lab (Ver equipo en anexos figura A6), en el cual actúan como parámetros las coordenadas cilíndricas el croma ( $c$ ) y la tonalidad ( $h$ ), y en las coordenadas rectangulares,  $l^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  (González, 2007), además el cambio de color ( $\Delta E$ ), siendo  $l^*$  la luminosidad, que determina que tan claro u oscuro es el

producto,  $a^*$  la variación del color entre rojo y verde y  $b^*$  la variación del color entre amarillo y azul.

El cambio de color ( $\Delta E$ ) está dado por la ecuación 8:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta l^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (8)$$

Donde,  $\Delta l = l_{final} - l_{inicial}$ ;  $\Delta a = a_{final} - a_{inicial}$ ;  $\Delta b = b_{final} - b_{inicial}$ .

El croma ( $c$ ) es la intensidad o pureza del color, se calcula con la ecuación 9:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (9)$$

La tonalidad ( $h$ ) es el cambio de color, hallada a partir de la ecuación 10:

$$h = \tan^{-1} b/a \quad (10)$$

En las figuras 5 y 6, se encuentra la representación del sistema CIELab y los tonos correspondientes a los distintos ángulos de matiz:

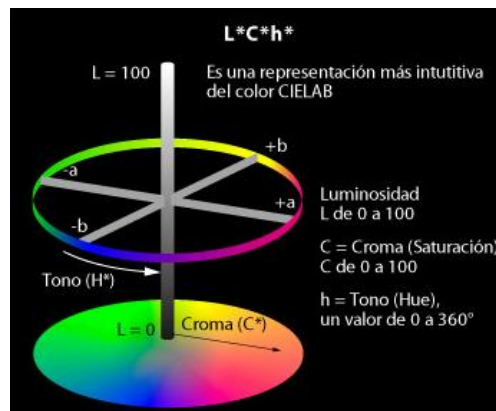


Figura 5. Representación del color CIELAB (Fuente: Boscarol, 2007).



Figura 6. Tonos correspondientes a los diferentes ángulos de matiz (Fuente: Boscarol, 2007).

#### **7.2.6.5.4 Determinación del parámetro de sabor (Análisis sensorial)**

Se realizó un protocolo para el análisis sensorial de sabor, color y olor de la harina compuesta, usando pruebas hedónicas estructuradas para aceptación. Se realizó una selección de 2 de las 9 formulaciones, a través de un panel pequeño, para después, determinar cuáles de las 2 formulaciones seleccionadas, era la mejor sensorialmente, con ayuda de una encuesta (ver anexos figura A7) realizada a un panel semi-entrenado de 50 personas.

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los resultados, se hizo mediante Excel, el software Minitab con análisis de varianzas y pruebas de comparación pos-anova de Tukey.

### 8.1 PRELIMINARES

Los ensayos preliminares se realizaron con la finalidad de conocer las temperaturas y tiempos a emplear, en los procesos de cocción de los granos de maíz y secado de la harina de maíz y la cáscara de piña, también para establecer la composición y/o formulaciones de la harina compuesta y así facilitar el desarrollo de la metodología. Las condiciones en las etapas del proceso fueron:

- Cocción: la temperatura de cocción para los granos de maíz en la olla presión, se estableció entre 100°C-130° C, por un periodo de 20 minutos, de tal modo que los granos de maíz ganaran peso en agua y facilitar su molienda.
- Secado: Para disminuir el contenido de humedad de todas las harinas, se empleó una temperatura de 60° C por un tiempo de 24h.
- Molienda y tamizado: Para asegurar la uniformidad en el tamaño de partícula de todas las harinas, después de la molienda, se realizó el tamizado con la serie de tamices Tyler y se dejaron como aceptables aquellas partículas con un tamaño igual o menor a 0.25 mm (Tamiz No 60) .

### 8.2 PRUEBAS FISICOQUÍMICAS

#### 8.2.1 CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad en base seca se determinó por el método de la estufa de aire y con la ecuación 3, obteniendo:

**Tabla 8. Contenido de humedad de las diferentes formulaciones de la harina compuesta.**

| Formulación    | %Humedad (bh) |
|----------------|---------------|
| 1. $H_3C_3E_7$ | 8,61 ± 0,21   |
| 2. $H_2C_2E_3$ | 8,17 ± 0,36   |
| 3. $H_1C_1E_1$ | 8,27 ± 0,21   |
| 4. $H_1C_3E_4$ | 8,10 ± 0,36   |
| 5. $H_2C_1E_2$ | 7,80 ± 0,40   |
| 6. $H_2C_3E_6$ | 8,23 ± 0,30   |
| 7. $H_3C_1E_3$ | 8,00 ± 0,67   |
| 8. $H_3C_2E_5$ | 7,85 ± 0,44   |
| 9. $H_1C_2E_2$ | 8,06 ± 0,59   |

Como se observa en la tabla anterior, el contenido de humedad de las diferentes formulaciones de la harina compuesta, varían muy poco, ya que la harina de maíz y la fibra de cáscara de piña fueron sometidas a secado, a diferencia de las especias. Como el componente mayoritario en las formulaciones es la harina de maíz, la humedad de la harina compuesta se asemeja a la de la materia prima que es 7,27% bh. El bajo contenido de humedad permite al producto ser estable, sin sufrir daños microbiológicos, puesto que los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua (Geankoplis, 1998). El parámetro humedad es importante, porque está relacionado con la vida de anaquel de las harinas. Cuando estas tienen un contenido de humedad del 10 al 12%, son estables frente a la contaminación microbiana; si esta humedad supera el 12%, el producto es atacado fácilmente por mohos y levaduras. Por otro lado, la baja humedad de la harina puede contribuir a la conservación fisicoquímica de la misma, porque retarda la rancidez de los lípidos y reduce la actividad enzimática, manteniendo por mayor tiempo estables sus características (Contreras, 2009).

### 8.2.2 CENIZAS

En la tabla 9 se muestra el porcentaje de cenizas de cada formulación:

**Tabla 9. Porcentaje de cenizas de las diferentes formulaciones de la harina compuesta.**

| Formulación    | %Ceniza         |
|----------------|-----------------|
| 1. $H_3C_3E_7$ | $1,35 \pm 0,01$ |
| 2. $H_2C_2E_3$ | $2,61 \pm 0,46$ |
| 3. $H_1C_1E_1$ | $2,66 \pm 0,37$ |
| 4. $H_1C_3E_4$ | $2,82 \pm 0,54$ |
| 5. $H_2C_1E_2$ | $2,40 \pm 0,01$ |
| 6. $H_2C_3E_6$ | $2,67 \pm 0,43$ |
| 7. $H_3C_1E_3$ | $2,75 \pm 0,03$ |
| 8. $H_3C_2E_5$ | $2,82 \pm 0,30$ |
| 9. $H_1C_2E_2$ | $3,54 \pm 0,04$ |

El contenido de minerales totales o material inorgánico depende de la composición del alimento, este representa menos del 5% de la materia seca de los alimentos (Arias, 2015). La formulación 9 al tener mayor contenido de harina de maíz, presentó el más alto porcentaje de cenizas, a causa que el maíz es un alimento rico en magnesio, calcio y potasio, como se había mencionado anteriormente, a diferencia de la formulación 1, que al tener en igual cantidad tanto de harina de maíz como de especias, en la mezcla no predominan las propiedades del maíz sino en conjunto.

### 8.2.3 FIBRA

Los porcentajes de fibra calculados de las diferentes formulaciones, se encuentran en la tabla 10:

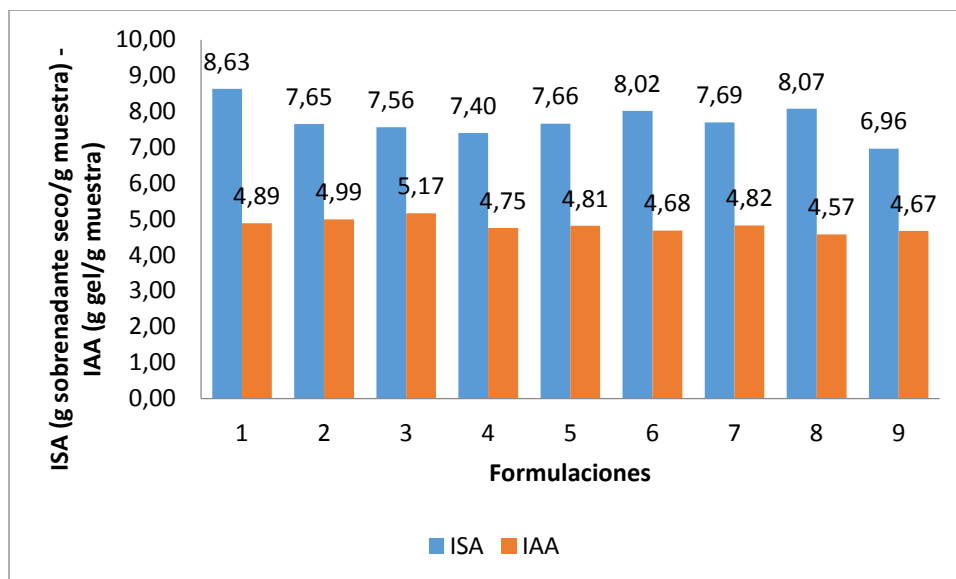
**Tabla 10. Porcentaje de fibra de las diferentes formulaciones de la harina compuesta.**

| Formulación                                     | %Fibra      |
|-------------------------------------------------|-------------|
| 1. H <sub>3</sub> C <sub>3</sub> E <sub>7</sub> | 3,70 ± 0,43 |
| 2. H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> E <sub>3</sub> | 5,10 ± 0,12 |
| 3. H <sub>1</sub> C <sub>1</sub> E <sub>1</sub> | 3,49 ± 0,22 |
| 4. H <sub>1</sub> C <sub>3</sub> E <sub>4</sub> | 4,49 ± 0,36 |
| 5. H <sub>2</sub> C <sub>1</sub> E <sub>2</sub> | 5,92 ± 0,17 |
| 6. H <sub>2</sub> C <sub>3</sub> E <sub>6</sub> | 5,44 ± 0,21 |
| 7. H <sub>3</sub> C <sub>1</sub> E <sub>3</sub> | 5,06 ± 0,06 |
| 8. H <sub>3</sub> C <sub>2</sub> E <sub>5</sub> | 3,74 ± 0,14 |
| 9. H <sub>1</sub> C <sub>2</sub> E <sub>2</sub> | 4,49 ± 0,15 |

El porcentaje de fibra de las mezclas está dado por el contenido de cáscara de piña, puesto que las formulaciones con altas cantidades de esta presentaron los más elevados carbohidratos estructurales o fibra cruda, como la formulación 5 y 7. Las especias también aportan significativamente en las mezclas (tabla 1 y 2), como sucede en la formulación 2 y 6. En cuanto a las otras formulaciones, al tener en mayor proporción harina de maíz, ocasiona que el porcentaje de fibra, sea bajo. Es importante recordar que la fibra cruda se define como el contenido de elementos fibrosos presentes en la pared celular de los vegetales, que incluyen principalmente celulosa y lignina. Esta definición por ende, no abarca contenido de fibra dietética que considera elementos no fibrosos como gomas que en muchos casos están ligadas a almidón y otros carbohidratos (Contreras, 2009).

### 8.2.4 INDICE DE ABSORCION (IAA) Y SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA), PODER DE HINCHAMIENTO (PH)

En la figura 3 se representa los valores obtenidos de los índices de absorción y solubilidad en agua de las formulaciones de la harina compuesta:



**Figura 7. Efecto de la variación de las formulaciones en los valores de ISA e IAA.**

**Tabla 11. Poder de hinchamiento de las diferentes formulaciones de la harina compuesta.**

| Formulación    | PH              |
|----------------|-----------------|
| 1. $H_3C_3E_7$ | $5,09 \pm 0,36$ |
| 2. $H_2C_2E_3$ | $5,17 \pm 0,29$ |
| 3. $H_1C_1E_1$ | $5,35 \pm 0,07$ |
| 4. $H_1C_3E_4$ | $4,92 \pm 0,53$ |
| 5. $H_2C_1E_2$ | $4,98 \pm 0,40$ |
| 6. $H_2C_3E_6$ | $4,86 \pm 0,23$ |
| 7. $H_3C_1E_3$ | $4,99 \pm 0,10$ |
| 8. $H_3C_2E_5$ | $4,75 \pm 0,16$ |
| 9. $H_1C_2E_2$ | $4,82 \pm 0,27$ |

El índice de solubilidad en agua (ISA) se refiere a todos los solubles que hay en la muestra procesada y el índice de absorción en agua (IAA) es una medida de la capacidad de absorción de agua de los componentes en la mezcla después del proceso, mayoritariamente es el almidón el que exhibe dicha característica cuando es pregelatinizado (Combariza, *et al.*, 2006). Los valores de ISA (índice de solubilidad en agua), IAA (índice de absorción en agua) y CAAS (capacidad de absorción de agua subjetiva) se puede saber que tan cocido está el maíz y cuánto daño de almidón presenta el material; mientras mayor daño exista en el almidón, la harina tendera a absorber una mayor cantidad de agua. Los aditivos permiten aumentar la capacidad de retención de agua (Contreras, 2009). En la figura anterior, se observa que la formulación 1 presenta el índice de solubilidad en agua más alto, siendo esta la mezcla con igual contenido de harina de maíz y especias, por otro lado, la formulación 3 posee el IAA más elevado y el PH (tabla 11), puesto que en dicha composición, la harina de maíz y la cáscara de piña

están en mayores cantidades, lo que permite una buena absorción de agua por parte del almidón del cereal y los compuestos estructurales de la fibra de la cáscara. El almidón de maíz se gelatiniza entre un rango de temperatura de 60-70 °C y está compuesto principalmente por glucosa, cuando se encuentra en presencia de agua, puede formar suspensiones, dado que el almidón se hincha por acción del agua formando geles.

### 8.2.5 GRANULOMETRIA

La reducción de tamaño (molienda) y tamizado se realizó para cada materia prima (maíz, cáscara de piña, comino y pimienta), con el fin de obtener un tamaño de partícula uniforme al momento de desarrollar el producto (harina compuesta). Los resultados granulométricos para cada insumo y producto fueron (tabla 11-15):

**Tabla 11. Granulometría de la harina de maíz.**

| No. Orden (i)                 | No. Tamiz | Abertura (mm) | Peso tamiz (g) | Peso retenido+tamiz (g) | Peso retenido (g) | % Retenido (wi) | % Acumulados |
|-------------------------------|-----------|---------------|----------------|-------------------------|-------------------|-----------------|--------------|
| 6                             | 10        | 1,68          | 448,08         | 451,25                  | 3,17              | 3,01            | 100,00       |
| 5                             | 18        | 1,00          | 409,26         | 425,34                  | 16,08             | 15,27           | 84,73        |
| 4                             | 35        | 0,42          | 394,28         | 449,91                  | 55,63             | 52,84           | 31,89        |
| 3                             | 60        | 0,25          | 373,33         | 389,54                  | 16,21             | 15,40           | 16,49        |
| 2                             | 100       | 0,15          | 295,80         | 306,81                  | 11,01             | 10,45           | 6,04         |
| 1                             | 120       | 0,13          | 367,34         | 369,59                  | 2,25              | 2,14            | 3,90         |
| 0                             | Fondo     | 0             | 381,92         | 382,86                  | 0,94              | 0,89            | 3,01         |
| <b>Total</b>                  |           |               |                |                         | 105,28            | 100,00          |              |
| <b>Modulo de fineza (MF)</b>  |           |               |                |                         | 3,75              |                 |              |
| <b>Diámetro promedio (mm)</b> |           |               |                |                         | 1,41              |                 |              |

**Tabla 12. Granulometría de la harina de cáscara de piña.**

| No. Orden (i)                 | No. Tamiz | Abertura (mm) | Peso tamiz (g) | Peso retenido+tamiz (g) | Peso retenido (g) | % Retenido (wi) | % Acumulados |
|-------------------------------|-----------|---------------|----------------|-------------------------|-------------------|-----------------|--------------|
| 6                             | 10        | 1,68          | 448,08         | 448,15                  | 0,07              | 0,07            | 100,00       |
| 5                             | 18        | 1,00          | 409,26         | 410,73                  | 1,47              | 1,46            | 98,54        |
| 4                             | 35        | 0,42          | 394,28         | 426,05                  | 31,77             | 31,38           | 67,17        |
| 3                             | 60        | 0,25          | 373,33         | 404,91                  | 31,58             | 31,18           | 35,98        |
| 2                             | 100       | 0,15          | 295,8          | 317,29                  | 21,49             | 21,22           | 14,76        |
| 1                             | 120       | 0,13          | 367,34         | 371,20                  | 3,86              | 3,82            | 10,94        |
| 0                             | Fondo     | 0             | 381,92         | 392,93                  | 11,01             | 10,88           | 0,07         |
| <b>Total</b>                  |           |               |                |                         | 101,26            | 100,00          |              |
| <b>Módulo de fineza (MF)</b>  |           |               |                |                         | 2,73              |                 |              |
| <b>Diámetro promedio (mm)</b> |           |               |                |                         | 0,69              |                 |              |

**Tabla 13. Granulometría de la pimienta negra en polvo.**

| No. Orden (i)                 | No. Tamiz | Abertura (mm) | Peso tamiz (g) | Peso retenido+tamiz (g) | Peso retenido (g) | % Retenido (wi) | % Acumulados |
|-------------------------------|-----------|---------------|----------------|-------------------------|-------------------|-----------------|--------------|
| 7                             | 10        | 1,68          | 448,08         | 448,08                  | 0,00              | 0,00            | 100,00       |
| 6                             | 18        | 1,00          | 409,26         | 409,26                  | 0,00              | 0,00            | 100,00       |
| 5                             | 35        | 0,42          | 394,28         | 394,28                  | 0,00              | 0,00            | 100,00       |
| 4                             | 60        | 0,25          | 373,33         | 411,81                  | 38,48             | 38,14           | 61,86        |
| 3                             | 100       | 0,15          | 295,80         | 352,29                  | 56,49             | 55,99           | 5,88         |
| 2                             | 120       | 0,125         | 367,34         | 372,55                  | 5,21              | 5,16            | 0,71         |
| 1                             | 270       | 0,053         | 352,90         | 353,62                  | 0,72              | 0,71            | 0,00         |
| 0                             | Fondo     |               | 381,92         | 381,92                  | 0,00              | 0,00            | 0,00         |
| <b>Total</b>                  |           |               |                |                         | 100,90            | 100,00          |              |
| <b>Módulo de fineza (MF)</b>  |           |               |                |                         | 3,32              |                 |              |
| <b>Diámetro promedio (mm)</b> |           |               |                |                         | 1,04              |                 |              |

**Tabla 14. Granulometría del comino en polvo.**

| No. Orden (i)                 | No. Tamiz | Abertura (mm) | Peso tamiz (g) | Peso retenido+tamiz (g) | Peso retenido (g) | % Retenido (wi) | % Acumulados |
|-------------------------------|-----------|---------------|----------------|-------------------------|-------------------|-----------------|--------------|
| 6                             | 10        | 1,68          | 448,08         | 448,08                  | 0,00              | 0,00            | 100,00       |
| 5                             | 18        | 1,00          | 409,26         | 409,26                  | 0,00              | 0,00            | 100,00       |
| 4                             | 35        | 0,42          | 394,28         | 394,28                  | 0,00              | 0,00            | 100,00       |
| 3                             | 60        | 0,25          | 373,33         | 431,09                  | 57,76             | 57,35           | 42,65        |
| 2                             | 100       | 0,15          | 295,80         | 336,24                  | 40,44             | 40,15           | 2,49         |
| 1                             | 120       | 0,125         | 367,34         | 369,85                  | 2,51              | 2,49            | 0,00         |
| 0                             | Fondo     |               | 381,92         | 381,92                  | 0,00              | 0,00            | 0,00         |
| <b>Total</b>                  |           |               |                |                         | 100,71            | 100,00          |              |
| <b>Módulo de fineza (MF)</b>  |           |               |                |                         | 2,55              |                 |              |
| <b>Diámetro promedio (mm)</b> |           |               |                |                         | 0,61              |                 |              |

**Tabla 15. Granulometría de la harina compuesta.**

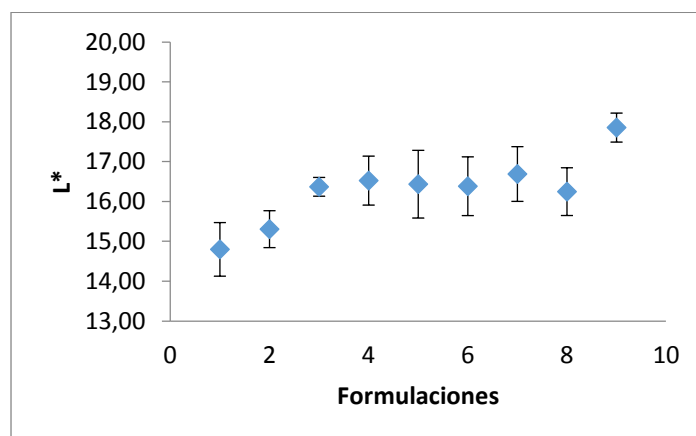
| No. Orden (i) | No. Tamiz | Abertura (mm) | Peso tamiz (g) | Peso retenido+tamiz (g) | Peso retenido (g) | % Retenido (wi) | % Acumulados |
|---------------|-----------|---------------|----------------|-------------------------|-------------------|-----------------|--------------|
| 7             | 10        | 1,68          | 448,08         | 448,08                  | 0,00              | 0,00            | 100,00       |
| 6             | 18        | 1             | 409,26         | 409,26                  | 0,00              | 0,00            | 100,00       |
| 5             | 35        | 0,42          | 394,28         | 394,28                  | 0,00              | 0,00            | 100,00       |
| 4             | 60        | 0,25          | 373,33         | 422,62                  | 49,29             | 48,46           | 51,54        |

|                               |       |       |        |        |        |        |       |
|-------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 3                             | 100   | 0,15  | 295,80 | 326,42 | 30,62  | 30,10  | 21,44 |
| 2                             | 120   | 0,125 | 367,34 | 383,11 | 15,77  | 15,50  | 5,94  |
| 1                             | 270   | 0,053 | 352,90 | 358,94 | 6,04   | 5,94   | 0,00  |
| 0                             | Fondo |       | 381,92 | 381,92 | 0,00   | 0,00   | 0,00  |
| <b>Total</b>                  |       |       |        |        | 101,72 | 100,00 |       |
| <b>Módulo de fineza (MF)</b>  |       |       |        |        | 3,21   |        |       |
| <b>Diámetro promedio (mm)</b> |       |       |        |        | 0,97   |        |       |

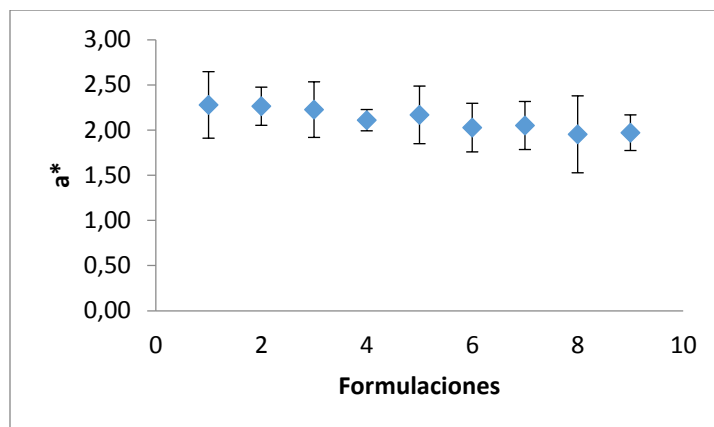
De acuerdo a las tablas anteriores, se visualiza que el tamaño de las partículas en su mayoría es de 0,42 mm para la harina de maíz y la cáscara de piña; el módulo de fineza se acerca al número de orden del mayor porcentaje de retenidos, siendo 3 y 4, para la harina de maíz y cáscara de piña, respectivamente, estos valores al ser mayores a cero, indican que la harina es gruesa. El diámetro promedio permite saber en qué tamiz habrá el mayor % retenidos, siendo el siguiente más pequeño de la serie, en ambos casos, es en el tamiz no. 35, ya que el diámetro promedio se encuentra antes de su abertura (0,42 mm). Para el comino y la mezcla, el mayor porcentaje de retenidos se encuentra en el tamaño de partícula 0,25 mm y el módulo de fineza se acerca al número de orden de dicho porcentaje, siendo 3 y 4, para la comino y mezcla, respectivamente, estos valores al ser mayores a cero, indican que la harina es gruesa, aunque más fina que la de harina de maíz y cáscara de piña. En el caso de la pimienta negra fue la molienda más fina obtenida para la realización de las formulaciones, ya que la mayor cantidad de partículas tenían un tamaño de 0,15 mm y su módulo de fineza se acerca a 3, correspondiendo al número de orden del mayor de %retenidos.

## 8.2.6 DETERMINACIÓN DE COLOR

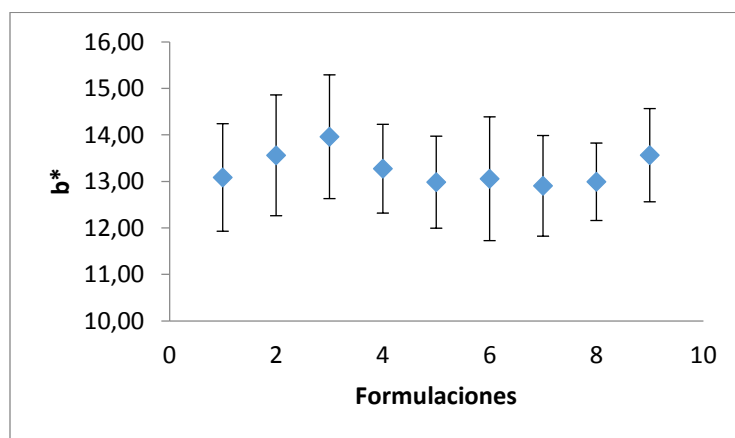
Las coordenadas rectangulares  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , fueron determinadas para cada una de las formulaciones de la harina compuesta y se representaron en las figuras 8 a 10:



**Figura 8. Luminosidad de los triplicados de cada formulación de la harina compuesta.**

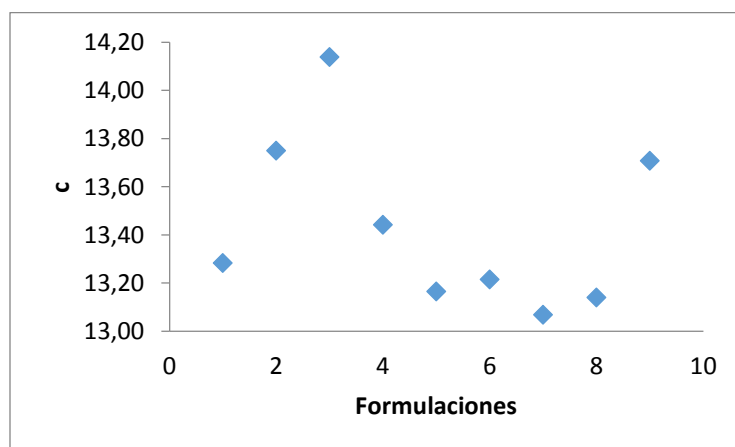


**Figura 9. Variación del color entre rojo y verde de los triplicados de cada formulación de la harina compuesta.**

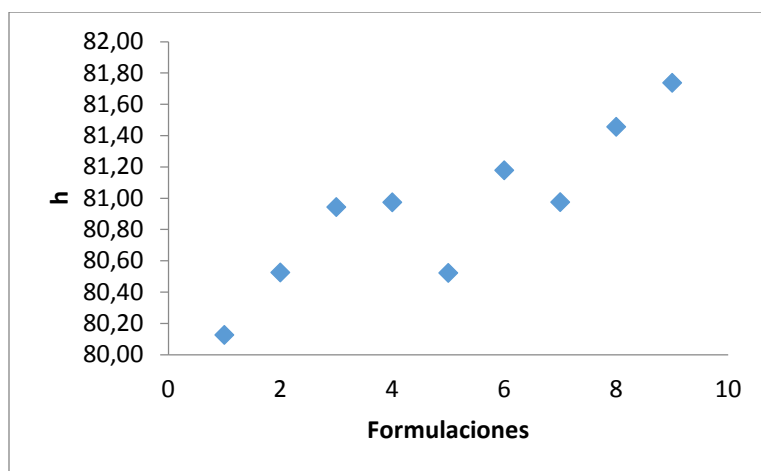


**Figura 10. Variación del color entre amarillo y azul de los triplicados de cada formulación de la harina compuesta.**

Las coordenadas cilíndricas  $c^*$ , y  $h^*$ , fueron determinadas para cada una de las formulaciones de la harina compuesta y se representaron en las figuras 11 y 12:

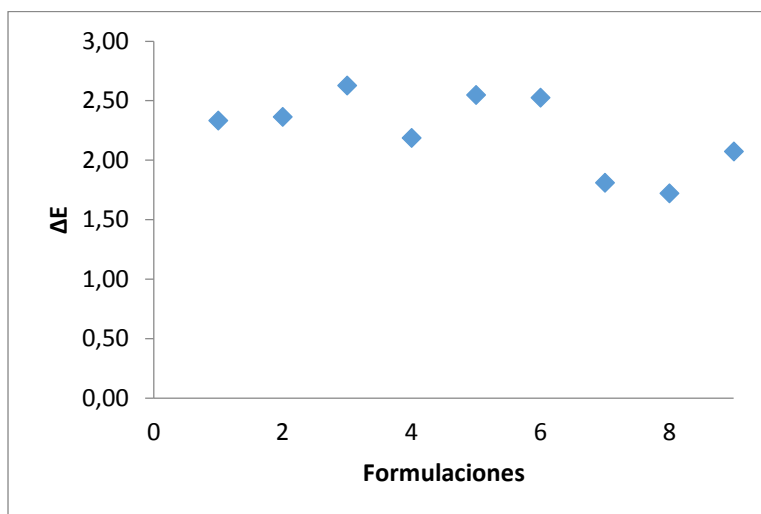


**Figura 11. Croma de los triplicados de cada formulación de la harina compuesta.**



**Figura 12. Tonalidad de los triplicados de cada formulación de la harina compuesta.**

En la figura 13 se representa el cambio de color de las formulaciones de la harina compuesta:



**Figura 13. Cambio de color de los triplicados de cada formulación de la harina compuesta.**

En la figura 8, se observa que la luminosidad aumenta levemente y es casi constante en las formulaciones 3 a 8, a causa de las cantidades de los ingredientes que varían muy poco, a diferencia de la formulación 1, donde la luminosidad es baja, porque hay igual cantidad de harina de maíz y especias, las cuales oscurecen la harina compuesta. En la formulación 9, la luminosidad es alta, puesto que hay mayor contenido de harina de maíz y no de los otros ingredientes.

La variación del color entre rojo y verde de las formulaciones, es mínima, como se evidencia en la figura 9, dichos valores al ser positivos se acercan al rojo en el plano cromático (figura 1); en el caso de la variación del color entre amarillo y azul (figura 10), es poca también, y los valores se acercan al color amarillo, al igual que el croma o intensidad de color, representada en la figura 11. En la figura 12, se visualiza que la

tonalidad (h) varía en las diferentes formulaciones, ya que las muestras tienen diferentes proporciones de componentes; con base a la figura 6, el ángulo del tono se encuentra entre tonalidades naranja. Por último, en la figura 13, el cambio de color de las muestras varían de acuerdo a las coordenadas rectangulares; al ser valores entre 1-3, indican una diferencia de color difícilmente apreciable al ojo humano. La norma ISO 12647-2 es la encargada de los estándares de impresión, entre otras muchas definiciones, aborda los umbrales de tolerancia para delta e:

**Tabla 17. Umbrales de tolerancia para el cambio de color (Fuente: Pereira, 2010)**

| $\Delta E^*$ | Calidad    |
|--------------|------------|
| 1            | Excelente  |
| 1-2          | Buena      |
| 2-4          | Normal     |
| 4-5          | Suficiente |
| > 5          | Mala       |

Valores superiores a 5 se proponen como inaceptables en la mayoría de procesos ya que indican que la diferencia de color es especialmente evidente (Pereira, 2010).

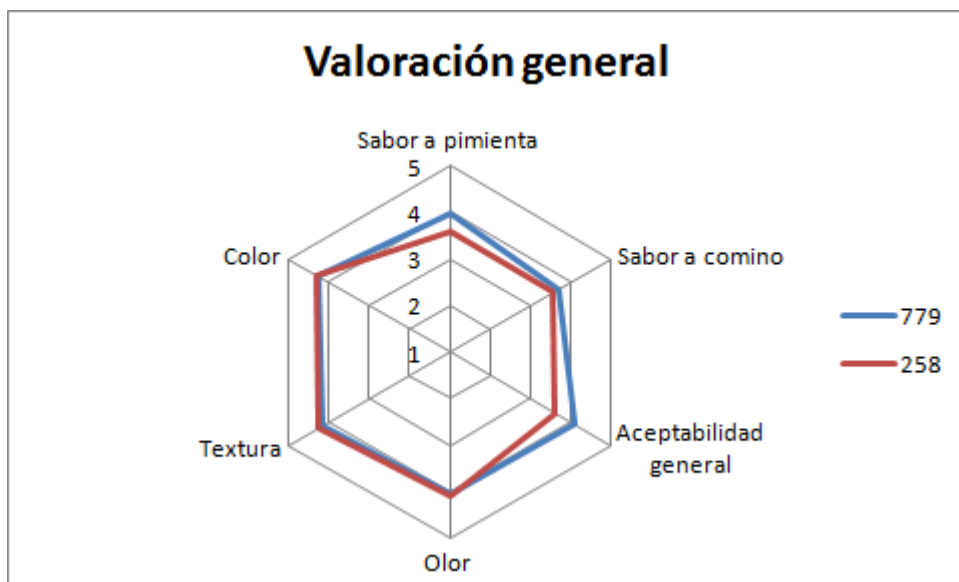
Estos parámetros verifican que las diferentes formulaciones son de color amarillo-café, por sus ingredientes, y las variaciones en el color de las composiciones son pocas, mostrando que el producto es estable, como se muestra en la figura A8 de los anexos.

### 8.3 ANÁLISIS SENSORIAL

Con el objetivo de reducir la cantidad de formulaciones a presentar en el análisis sensorial por parte de la comunidad de la Universidad del Valle, en especial aquellos pertenecientes al programa de Ingeniería de Alimentos, se sometieron las 9 formulaciones a un panel pequeño (10 personas) quienes tuvieron la tarea de escoger únicamente 2 formulaciones de las 9 presentadas. Las formulaciones finalmente obtenidas fueron la No. 1 y la No. 5.

Se condujo un análisis sensorial de aceptabilidad para las dos formulaciones (No. 1 y No. 5), a través de una encuesta (ver anexo figura A7) presentada a 50 personas.

En la figura 10 se observa el resultado para los diferentes parámetros sensoriales de las muestras 779 y 258 (Formulaciones 1 y 5 respectivamente):



**Figura 14. Diagrama de radar de valoración de los atributos sensoriales de las muestras 779 y 258.**

En la figura 14, se observa que la puntuación otorgada por el panel evaluador, en al menos 3 de los parámetros (Olor, textura, color) fue muy similar para ambas formulaciones.

De acuerdo a los parámetros de sabor a pimienta, sabor a comino y aceptabilidad general, se pudo obtener una formulación de mayor aceptabilidad.

La muestra 779 (Formulación No 1) obtuvo un mayor puntaje, debido principalmente a que en su composición existía igual cantidad de harina de maíz y de especias, así como una baja cantidad de fibra, provocando un balance de agradable percepción al paladar.

#### **8.4 ANALISIS DE VARIANZAS (ANOVAS) Y PRUEBAS DE COMPARACIÓN DE TUKEY**

Con ayuda del programa MINITAB 16 se desarrolló el ANOVA y POST-ANOVA para el diseño experimental, utilizando un nivel de significancia del 5%, estableciendo el siguiente modelo de análisis (Ecuación 11):

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \gamma_j + (\tau\gamma)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (11)$$

Donde,  $i$  es 1,2,...,  $a$  (tratamientos; %harina de maíz y %cáscara de piña),  $j$  es 1,2,...,  $b$  (corridas u observaciones),  $k$  es 1,2,...,  $n$  (número de réplicas),  $y_{ijk}$  es el valor aleatorio que toma la variable de respuesta en la  $k$ -ésima replica que ha sido expuesta al  $j$ -ésimo nivel del factor %cáscara de piña y al  $i$ -ésimo nivel del factor %harina de maíz,  $\mu$  es el efecto medio general,  $\tau_i$  es el efecto debido al  $i$ -ésimo nivel de %harina de maíz,  $\gamma_j$  es el efecto debido al  $j$ -ésimo nivel de %cáscara de piña,  $(\tau\gamma)_{ij}$  es el efecto debido a la interacción

entre el factor %harina de maíz y %cáscara de piña y  $\varepsilon_{ij}$  es el efecto debido al error experimental.

A partir de allí, las hipótesis nulas y alternas serán:

$$\begin{array}{ll} H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \dots = \tau_a = 0 & \text{vs} \quad H_1: \tau_i \neq 0 \text{ para algún } i. \\ H_0: \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \dots = \gamma_a = 0 & \text{vs} \quad H_1: \gamma_j \neq 0 \text{ para algún } j. \end{array}$$

Si el valor p de los análisis es mayor al nivel de significancia se aceptará la hipótesis nula, que indica que el efecto del factor es igual en las variables de respuesta, a diferencia si se rechazará, ya que el efecto del factor sería diferente en la variable de respuesta.

Además la interacción de los factores está dada por la hipótesis nula y alterna en donde:

$$H_0: (\tau\gamma)_1 = (\tau\gamma)_2 = (\tau\gamma)_3 = \dots = (\tau\gamma)_{ij} = 0 \quad \text{vs} \quad H_1: (\tau\gamma)_{ij} \neq 0 \text{ para algún } i \text{ o } j.$$

La hipótesis nula indica que no hay interacción entre los factores, en comparación de la alterna donde si existe interacción entre ellos.

Por otra parte para la validación de los supuestos, si el valor p es mayor al nivel de significancia, se cumple el supuesto, a diferencia si el valor p es menor, ocurriría lo contrario, no se cumpliría el supuesto.

En las figuras 15, 22, 29, 36, 43, 50 y 57 se encuentra los análisis de varianzas de las variables de respuesta (humedad, índice de absorción y solubilidad en agua, croma, tonalidad, cambio de color, fibra y cenizas), respectivamente, además en las figuras 16, 17a, 17b, 18, 19, 23, 24a, 24b, 25, 26, 30, 31a, 31b, 32, 33, 37, 38a, 38b, 39, 40, 44, 45a, 45b, 46, 47, 51, 52a, 52b, 53, 54, 58, 59a, 59b, 60 y 61 se evidencia la validación de los supuestos 1 donde los errores tienen media cero, supuesto 2: la varianza de los errores es constante, supuesto 3: los errores son aleatorios e independientes y supuesto 4: los errores tienen una distribución normal, para las variables de respuesta y en las figuras 20, 21, 27, 28, 34, 35, 41, 42, 48, 49, 55, 56, 62 y 63 se muestra las pruebas de comparación post-anova de Tukey de los factores con cada variable de respuesta.

### 8.4.1 HUMEDAD

#### Modelo lineal general: Humedad vs. %Harina de maiz. %Cáscara de piña

| Factor           | Tipo | Niveles | Valores    |
|------------------|------|---------|------------|
| %Harina de maiz  | fijo | 3       | 46. 50. 54 |
| %Cáscara de piña | fijo | 3       | 8. 13. 17  |

Análisis de varianza para Humedad, utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente                           | GL | SC Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F    |
|----------------------------------|----|---------|-----------|-----------|------|
| %Harina de maiz                  | 2  | 0,0379  | 0,0379    | 0,0189    | 0,10 |
| %Cáscara de piña                 | 2  | 0,5087  | 0,5087    | 0,2543    | 1,36 |
| %Harina de maiz*%Cáscara de piña | 4  | 0,8802  | 0,8802    | 0,2200    | 1,17 |
| Error                            | 18 | 3,3749  | 3,3749    | 0,1875    |      |
| Total                            | 26 | 4,8017  |           |           |      |

| Fuente                           | P     |
|----------------------------------|-------|
| %Harina de maiz                  | 0,904 |
| %Cáscara de piña                 | 0,283 |
| %Harina de maiz*%Cáscara de piña | 0,355 |
| Error                            |       |
| Total                            |       |

S = 0,433008 R-cuad. = 29,71% R-cuad.(ajustado) = 0,00%

Figura 15. ANOVA para el modelo de análisis del contenido de humedad.

#### T de una muestra: RESID1

Prueba de  $\mu = 0$  vs.  $\mu \neq 0$

| Variable | N  | Media  | Desv.Est. | Error estándar de la media | IC de 95%         | T    | P     |
|----------|----|--------|-----------|----------------------------|-------------------|------|-------|
| RESID1   | 27 | 0,0000 | 0,3603    | 0,0693                     | (-0,1425. 0,1425) | 0,00 | 1,000 |

Figura 16. Validación supuesto 1 para el contenido de humedad.

#### Prueba de varianzas iguales: RESID1 vs. %Harina de maiz. %Cáscara de piña

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

| %Harina de maiz | %Cáscara de piña | N | Inferior | Desv.Est. | Superior |
|-----------------|------------------|---|----------|-----------|----------|
| 46              | 8                | 3 | 0,088146 | 0,213854  | 4,0548   |
| 46              | 13               | 3 | 0,182153 | 0,441928  | 8,3792   |
| 46              | 17               | 3 | 0,274350 | 0,665607  | 12,6202  |
| 50              | 8                | 3 | 0,122896 | 0,298161  | 5,6533   |
| 50              | 13               | 3 | 0,148861 | 0,361156  | 6,8477   |
| 50              | 17               | 3 | 0,164872 | 0,400000  | 7,5842   |
| 54              | 8                | 3 | 0,150826 | 0,365923  | 6,9381   |
| 54              | 13               | 3 | 0,245249 | 0,595007  | 11,2816  |
| 54              | 17               | 3 | 0,152079 | 0,368963  | 6,9957   |

Prueba de Bartlett (distribución normal)  
Estadística de prueba = 3,04. valor p = 0,932

Prueba de Levene (cualquier distribución continua)  
Estadística de prueba = 0,30. valor p = 0,955

Figura 17a. Validación supuesto 2 para el contenido de humedad.

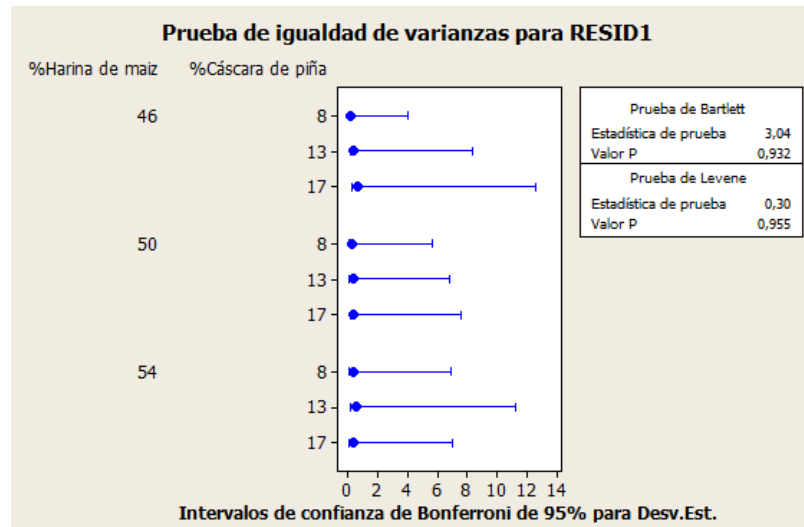


Figura 17b. Gráfica de la validación supuesto 2 para el contenido de humedad.

**Prueba de corridas: RESID1**

Prueba de corridas para RESID1

Corridas por encima y por debajo de  $K = 3,947460E-16$

El número observado de corridas = 19

El número esperado de corridas = 14,0370

16 observaciones por encima de  $K$ . 11 por debajo

Valor P = 0,043

Figura 18. Validación supuesto 3 para el contenido de humedad.

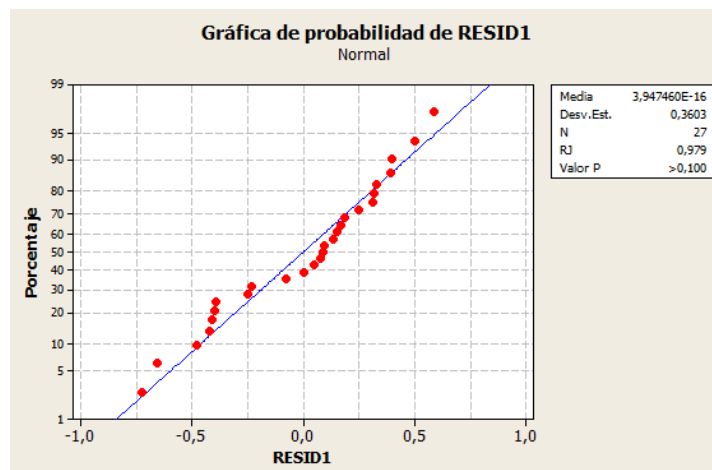


Figura 19. Validación supuesto 4 para el contenido de humedad.

**ANOVA unidireccional: Humedad vs. %Harina de maiz**

| Fuente          | GL | SC    | CM    | F    | P     |
|-----------------|----|-------|-------|------|-------|
| %Harina de maiz | 2  | 0,038 | 0,019 | 0,10 | 0,909 |
| Error           | 24 | 4,764 | 0,198 |      |       |
| Total           | 26 | 4,802 |       |      |       |

S = 0,4455    R-cuad. = 0,79%    R-cuad. (ajustado) = 0,00%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

| %Harina de maiz | N | Media  | Agrupación |
|-----------------|---|--------|------------|
| 46              | 9 | 8,1522 | A          |
| 54              | 9 | 8,1411 | A          |
| 50              | 9 | 8,0678 | A          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Figura 20. Prueba de comparación múltiples por Tukey para el contenido de humedad con respecto al %Harina de maíz.**

**ANOVA unidireccional: Humedad vs. %Cáscara de piña**

| Fuente           | GL | SC    | CM    | F    | P     |
|------------------|----|-------|-------|------|-------|
| %Cáscara de piña | 2  | 0,509 | 0,254 | 1,42 | 0,261 |
| Error            | 24 | 4,293 | 0,179 |      |       |
| Total            | 26 | 4,802 |       |      |       |

S = 0,4229    R-cuad. = 10,59%    R-cuad. (ajustado) = 3,14%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

| %Cáscara de piña | N | Media  | Agrupación |
|------------------|---|--------|------------|
| 8                | 9 | 8,3144 | A          |
| 13               | 9 | 8,0267 | A          |
| 17               | 9 | 8,0200 | A          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Figura 21. Prueba de comparación múltiples por Tukey para el contenido de humedad con respecto al %Cáscara de piña.**

En la figura 15 se observa que el valor p de los factores y su interacción son mayores al nivel de significancia, aceptando la hipótesis nula, indica que el efecto de los factores hacia el contenido de humedad es igual. En cuanto a los supuestos (figura 16,17a, 17b, 18 y 19) todos con excepción del 3 (los errores no son aleatorios e independientes), se cumplen ya que el valor p es menor a 0.05, siendo necesaria una transformación, para que dicho supuesto sea válido. Según la prueba de comparación de Tukey, el %Harina de maíz no afecta a la humedad de la mezcla, al igual que el % Cáscara de piña (figura 20 y 21), aunque sería necesario realizar la comparación otra vez cuando todos los supuestos sean válidos.

## 8.4.2 INDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA

### Modelo lineal general: ISA vs. %Harina de maiz. %Cáscara de piña

| Factor           | Tipo | Niveles | Valores    |
|------------------|------|---------|------------|
| %Harina de maiz  | fijo | 3       | 46. 50. 54 |
| %Cáscara de piña | fijo | 3       | 8. 13. 17  |

### Análisis de varianza para ISA, utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente                           | GL | SC Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F     |
|----------------------------------|----|---------|-----------|-----------|-------|
| %Harina de maiz                  | 2  | 3,0856  | 3,0856    | 1,5428    | 10,79 |
| %Cáscara de piña                 | 2  | 1,0632  | 1,0632    | 0,5316    | 3,72  |
| %Harina de maiz*%Cáscara de piña | 4  | 1,1043  | 1,1043    | 0,2761    | 1,93  |
| Error                            | 18 | 2,5729  | 2,5729    | 0,1429    |       |
| Total                            | 26 | 7,8260  |           |           |       |

| Fuente                           | P     |
|----------------------------------|-------|
| %Harina de maiz                  | 0,001 |
| %Cáscara de piña                 | 0,044 |
| %Harina de maiz*%Cáscara de piña | 0,149 |
| Error                            |       |
| Total                            |       |

S = 0,378074 R-cuad. = 67,12% R-cuad.(ajustado) = 52,51%

Figura 22. ANOVA para el modelo de análisis del índice de solubilidad en agua (ISA).

### T de una muestra: RESID1

Prueba de  $\mu = 0$  vs.  $\mu \neq 0$

| Variable | N  | Media  | Desv.Est. | Error estándar de la media | IC de 95%         | T    | P     |
|----------|----|--------|-----------|----------------------------|-------------------|------|-------|
| RESID1   | 27 | 0,0000 | 0,3146    | 0,0605                     | (-0,1244. 0,1244) | 0,00 | 1,000 |

Figura 23. Validación supuesto 1 para el índice de solubilidad en agua (ISA).

### Prueba de varianzas iguales: RESID1 vs. %Harina de maiz. %Cáscara de piña

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

| %Harina de maiz | %Cáscara de piña | N | Inferior | Desv.Est. | Superior |
|-----------------|------------------|---|----------|-----------|----------|
| 46              | 8                | 3 | 0,168886 | 0,409738  | 7,7688   |
| 46              | 13               | 3 | 0,028854 | 0,070003  | 1,3273   |
| 46              | 17               | 3 | 0,272966 | 0,662251  | 12,5566  |
| 50              | 8                | 3 | 0,174943 | 0,424434  | 8,0475   |
| 50              | 13               | 3 | 0,055403 | 0,134414  | 2,5486   |
| 50              | 17               | 3 | 0,107588 | 0,261023  | 4,9491   |
| 54              | 8                | 3 | 0,101634 | 0,246576  | 4,6752   |
| 54              | 13               | 3 | 0,153475 | 0,372350  | 7,0599   |
| 54              | 17               | 3 | 0,188572 | 0,457501  | 8,6744   |

Prueba de Bartlett (distribución normal)  
Estadística de prueba = 8,73. valor p = 0,366

Prueba de Levene (cualquier distribución continua)  
Estadística de prueba = 0,54. valor p = 0,811

Figura 24a. Validación supuesto 2 para el índice de solubilidad en agua (ISA).

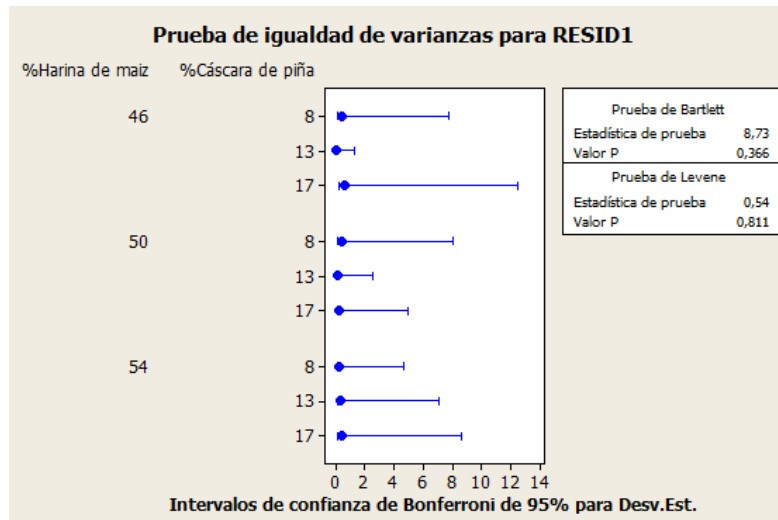


Figura 24b. Gráfica de la validación supuesto 2 para el índice de solubilidad en agua (ISA).

#### Prueba de corridas: RESID1

Prueba de corridas para RESID1

Corridas por encima y por debajo de  $K = 6,579099E-17$

El número observado de corridas = 16

El número esperado de corridas = 14,3333

15 observaciones por encima de  $K$ . 12 por debajo

Valor P = 0,508

Figura 25. Validación supuesto 3 para el índice de solubilidad en agua (ISA).

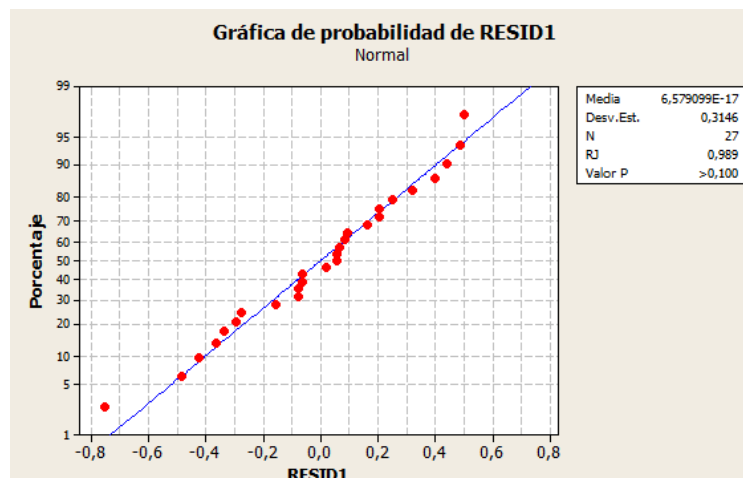


Figura 26. Validación supuesto 4 para el índice de solubilidad en agua (ISA).

#### ANOVA unidireccional: ISA vs. %Harina de maíz

| Fuente          | GL | SC    | CM    | F    | P     |
|-----------------|----|-------|-------|------|-------|
| %Harina de maíz | 2  | 3,086 | 1,543 | 7,81 | 0,002 |
| Error           | 24 | 4,740 | 0,198 |      |       |
| Total           | 26 | 7,826 |       |      |       |

S = 0,4444 R-cuad. = 39,43% R-cuad. (ajustado) = 34,38%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

| %Harina de maíz | N | Media  | Agrupación |
|-----------------|---|--------|------------|
| 46              | 9 | 8,1322 | A          |
| 50              | 9 | 7,7759 | A B        |
| 54              | 9 | 7,3067 | B          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Figura 27. Prueba de comparación múltiples por Tukey para índice de solubilidad en agua (ISA) con respecto al %Harina de maíz.**

#### ANOVA unidireccional: ISA vs. %Cáscara de piña

| Fuente           | GL | SC    | CM    | F    | P     |
|------------------|----|-------|-------|------|-------|
| %Cáscara de piña | 2  | 1,063 | 0,532 | 1,89 | 0,173 |
| Error            | 24 | 6,763 | 0,282 |      |       |
| Total            | 26 | 7,826 |       |      |       |

S = 0,5308 R-cuad. = 13,59% R-cuad. (ajustado) = 6,38%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

| %Cáscara de piña | N | Media  | Agrupación |
|------------------|---|--------|------------|
| 8                | 9 | 8,0154 | A          |
| 17               | 9 | 7,6381 | A          |
| 13               | 9 | 7,5613 | A          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Figura 28. Prueba de comparación múltiples por Tukey para índice de solubilidad en agua (ISA) con respecto al %Cáscara de piña.**

En la figura 22 se observa que el valor p de los factores es menor al nivel de significancia, a diferencia de su interacción que es mayor, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula para los factores, y se acepta para la interacción entre ellos, indicando que el efecto de los factores hacia el índice de solubilidad en agua es diferente y el efecto de su interacción es igual. En cuanto a los supuestos (figura 23, 24a, 24b, 25 y 26) todos se cumplen, ya que los valores p son mayores a 0.05. En las figuras 27 y 28, se evidencia que el %harina de maíz de 46% y 50% tienen efectos iguales en el ISA, del mismo modo, 50% y 54%, pero diferente efecto entre ellos, por otra parte, los porcentajes de cáscara de piña su efecto es igual en la variable de respuesta.

### 8.4.3 INDICE DE ABSORCION EN AGUA

**Modelo lineal general: IAA vs. %Harina de maiz. %Cáscara de piña**

| Factor           | Tipo | Niveles | Valores    |
|------------------|------|---------|------------|
| %Harina de maiz  | fijo | 3       | 46. 50. 54 |
| %Cáscara de piña | fijo | 3       | 8. 13. 17  |

Análisis de varianza para IAA, utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente                           | GL | SC      | Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F    |
|----------------------------------|----|---------|------|-----------|-----------|------|
| %Harina de maiz                  | 2  | 0,04971 |      | 0,04971   | 0,02486   | 0,29 |
| %Cáscara de piña                 | 2  | 0,18469 |      | 0,18469   | 0,09235   | 1,09 |
| %Harina de maiz*%Cáscara de piña | 4  | 0,54462 |      | 0,54462   | 0,13616   | 1,60 |
| Error                            | 18 | 1,52846 |      | 1,52846   | 0,08491   |      |
| Total                            | 26 | 2,30749 |      |           |           |      |

| Fuente                           | P     |
|----------------------------------|-------|
| %Harina de maiz                  | 0,750 |
| %Cáscara de piña                 | 0,358 |
| %Harina de maiz*%Cáscara de piña | 0,217 |
| Error                            |       |
| Total                            |       |

S = 0,291401    R-cuad. = 33,76%    R-cuad. (ajustado) = 4,32%

Figura 29. ANOVA para el modelo de análisis del índice de absorción en agua (IAA).

#### T de una muestra: RESID1

Prueba de  $\mu = 0$  vs.  $\mu \neq 0$

| Variable | N  | Media  | Desv.Est. | Error estándar de la media | IC de 95% (-0,0959. 0,0959) | T    | P     |
|----------|----|--------|-----------|----------------------------|-----------------------------|------|-------|
| RESID1   | 27 | 0,0000 | 0,2425    | 0,0467                     |                             | 0,00 | 1,000 |

Figura 30. Validación supuesto 1 para el índice de absorción en agua (IAA).

#### Prueba de varianzas iguales: RESID1 vs. %Harina de maiz. %Cáscara de piña

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

| %Harina de maiz | %Cáscara de piña | N | Inferior | Desv.Est. | Superior |
|-----------------|------------------|---|----------|-----------|----------|
| 46              | 8                | 3 | 0,149604 | 0,362960  | 6,88189  |
| 46              | 13               | 3 | 0,064120 | 0,155562  | 2,94954  |
| 46              | 17               | 3 | 0,042517 | 0,103153  | 1,95582  |
| 50              | 8                | 3 | 0,091286 | 0,221471  | 4,19919  |
| 50              | 13               | 3 | 0,115163 | 0,279400  | 5,29756  |
| 50              | 17               | 3 | 0,159842 | 0,387798  | 7,35283  |
| 54              | 8                | 3 | 0,202751 | 0,491901  | 9,32667  |
| 54              | 13               | 3 | 0,111913 | 0,271515  | 5,14805  |
| 54              | 17               | 3 | 0,027534 | 0,066802  | 1,26660  |

Prueba de Bartlett (distribución normal)  
Estadística de prueba = 8,43. valor p = 0,393

Prueba de Levene (cualquier distribución continua)  
Estadística de prueba = 0,43. valor p = 0,889

Figura 31a. Validación supuesto 2 para el índice de absorción en agua (IAA).

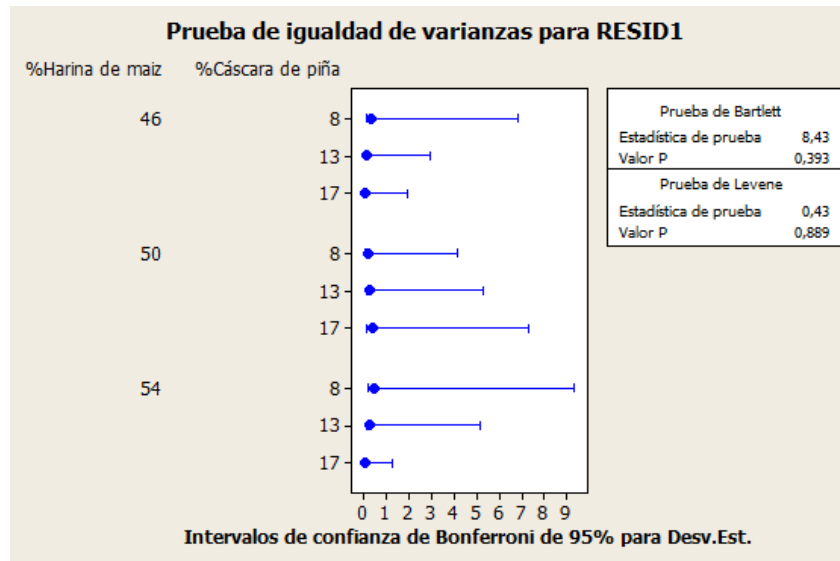


Figura 31b. Gráfica de la validación supuesto 2 para el índice de absorción en agua (IAA).

**Prueba de corridas: RESID1**

Prueba de corridas para RESID1

Corridas por encima y por debajo de  $K = 0$

El número observado de corridas = 17  
 El número esperado de corridas = 14,3333  
 12 observaciones por encima de  $K$ . 15 por debajo  
 Valor P = 0,289

Figura 32. Validación supuesto 3 para el índice de absorción en agua (IAA).

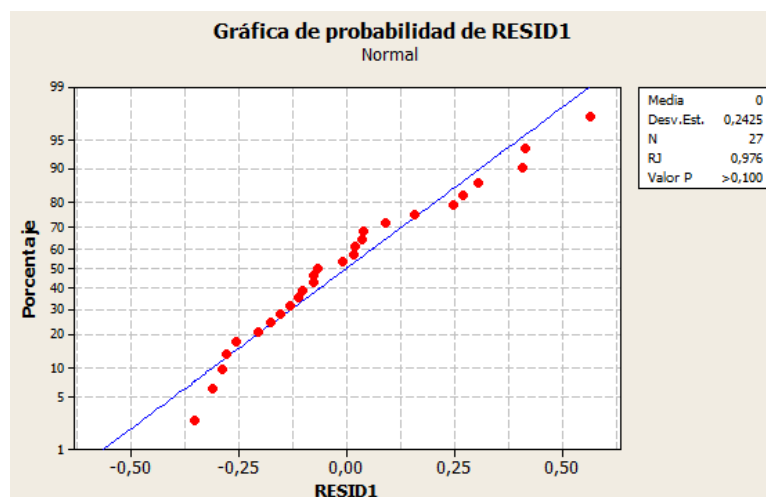


Figura 33. Validación supuesto 4 para el índice de absorción en agua (IAA).

**ANOVA unidireccional: IAA vs. %Harina de maiz**

| Fuente          | GL | SC     | CM     | F    | P     |
|-----------------|----|--------|--------|------|-------|
| %Harina de maiz | 2  | 0,0497 | 0,0249 | 0,26 | 0,770 |
| Error           | 24 | 2,2578 | 0,0941 |      |       |
| Total           | 26 | 2,3075 |        |      |       |

S = 0,3067 R-cuad. = 2,15% R-cuad.(ajustado) = 0,00%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

| %Harina de maiz | N | Media  | Agrupación |
|-----------------|---|--------|------------|
| 54              | 9 | 4,8639 | A          |
| 50              | 9 | 4,8295 | A          |
| 46              | 9 | 4,7607 | A          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Figura 34. Prueba de comparación múltiples por Tukey para índice de absorción en agua (IAA) con respecto al %Harina de maíz.**

**ANOVA unidireccional: IAA vs. %Cáscara de piña**

| Fuente           | GL | SC     | CM     | F    | P     |
|------------------|----|--------|--------|------|-------|
| %Cáscara de piña | 2  | 0,1847 | 0,0923 | 1,04 | 0,367 |
| Error            | 24 | 2,1228 | 0,0884 |      |       |
| Total            | 26 | 2,3075 |        |      |       |

S = 0,2974 R-cuad. = 8,00% R-cuad.(ajustado) = 0,34%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

| %Cáscara de piña | N | Media  | Agrupación |
|------------------|---|--------|------------|
| 17               | 9 | 4,9338 | A          |
| 8                | 9 | 4,7748 | A          |
| 13               | 9 | 4,7456 | A          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Figura 35. Prueba de comparación múltiples por Tukey para índice de absorción en agua (IAA) con respecto al %Cáscara de piña.**

Para el índice de absorción en agua, el efecto de los factores e interacción entre ellos es igual, ya que el valor p es mayor al nivel de significancia, como se evidencia en la figura 29, aceptando la hipótesis nula. Los supuestos se cumplen (figura 30, 31a, 31b, 32 y 33), puesto que el valor p es mayor a 0.05, y en la prueba de comparación de Tukey el efecto de los factores es igual en la variable de respuesta (figura 34 y 35), por la misma razón.

## 8.4.4 CENIZAS

### Modelo lineal general: %Cenizas vs. %Harina de maiz. %Cáscara de piña

| Factor           | Tipo | Niveles | Valores    |
|------------------|------|---------|------------|
| %Harina de maiz  | fijo | 3       | 46. 50. 54 |
| %Cáscara de piña | fijo | 3       | 8. 13. 17  |

Análisis de varianza para %Cenizas, utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente                           | GL | SC     | Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F     |
|----------------------------------|----|--------|------|-----------|-----------|-------|
| %Harina de maiz                  | 2  | 2,2757 |      | 2,2757    | 1,1378    | 11,09 |
| %Cáscara de piña                 | 2  | 2,2841 |      | 2,2841    | 1,1420    | 11,13 |
| %Harina de maiz*%Cáscara de piña | 4  | 3,2658 |      | 3,2658    | 0,8165    | 7,95  |
| Error                            | 18 | 1,8475 |      | 1,8475    | 0,1026    |       |
| Total                            | 26 | 9,6731 |      |           |           |       |

| Fuente                           | P     |
|----------------------------------|-------|
| %Harina de maiz                  | 0,001 |
| %Cáscara de piña                 | 0,001 |
| %Harina de maiz*%Cáscara de piña | 0,001 |
| Error                            |       |
| Total                            |       |

S = 0,320369 R-cuad. = 80,90% R-cuad.(ajustado) = 72,41%

Figura 36. ANOVA para el modelo de análisis del %Cenizas.

### T de una muestra: RESID1

Prueba de  $\mu = 0$  vs.  $\mu \neq 0$

| Variable | N  | Media  | Desv.Est. | Error estándar de la media | IC de 95%         | T    | P     |
|----------|----|--------|-----------|----------------------------|-------------------|------|-------|
| RESID1   | 27 | 0,0000 | 0,2666    | 0,0513                     | (-0,1054. 0,1054) | 0,00 | 1,000 |

Figura 37. Validación supuesto 1 para %Cenizas.

### Prueba de varianzas iguales: RESID1 vs. %Harina de maiz. %Cáscara de piña

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

| %Harina de maiz | %Cáscara de piña | N | Inferior | Desv.Est. | Superior |
|-----------------|------------------|---|----------|-----------|----------|
| 46              | 8                | 3 | 0,002395 | 0,005810  | 0,1102   |
| 46              | 13               | 3 | 0,124200 | 0,301326  | 5,7133   |
| 46              | 17               | 3 | 0,014134 | 0,034290  | 0,6502   |
| 50              | 8                | 3 | 0,177507 | 0,430655  | 8,1654   |
| 50              | 13               | 3 | 0,191307 | 0,464135  | 8,8002   |
| 50              | 17               | 3 | 0,005730 | 0,013901  | 0,2636   |
| 54              | 8                | 3 | 0,221499 | 0,537385  | 10,1891  |
| 54              | 13               | 3 | 0,017474 | 0,042394  | 0,8038   |
| 54              | 17               | 3 | 0,154258 | 0,374251  | 7,0960   |

Prueba de Bartlett (distribución normal)  
Estadística de prueba = 34,18. valor p = 0,000

Prueba de Levene (cualquier distribución continua)  
Estadística de prueba = 0,66. valor p = 0,721

Figura 38a. Validación supuesto 2 para %Cenizas.

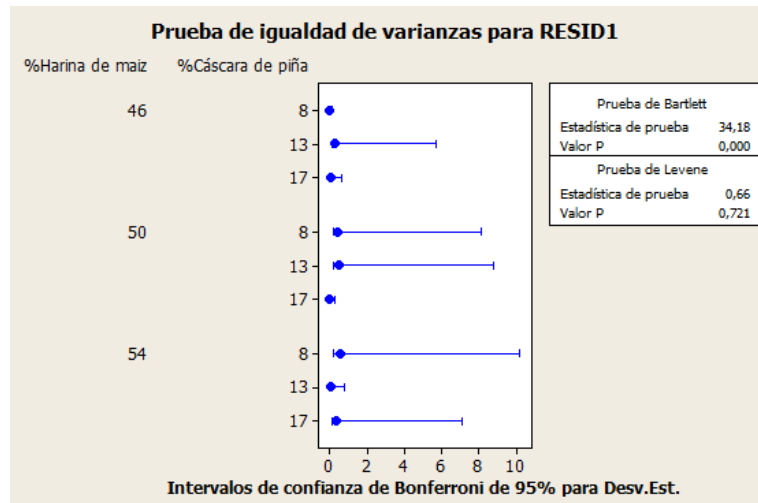


Figura 38b. Gráfica de la validación supuesto 2 para %Cenizas.

#### Prueba de corridas: RESID1

Prueba de corridas para RESID1

Corridas por encima y por debajo de  $K = 2,549401E-16$

El número observado de corridas = 16

El número esperado de corridas = 14,4815

13 observaciones por encima de  $K$ . 14 por debajo

Valor P = 0,551

Figura 39. Validación supuesto 3 para %Cenizas.

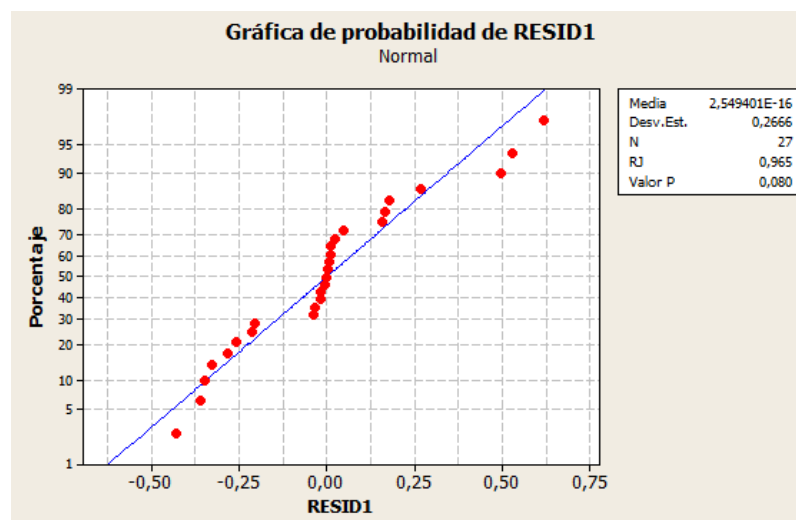


Figura 40. Validación supuesto 4 para %Cenizas.

**ANOVA unidireccional: %Cenizas vs. %Harina de maiz**

| Fuente          | GL | SC    | CM    | F    | P     |
|-----------------|----|-------|-------|------|-------|
| %Harina de maiz | 2  | 2,276 | 1,138 | 3,69 | 0,040 |
| Error           | 24 | 7,397 | 0,308 |      |       |
| Total           | 26 | 9,673 |       |      |       |

S = 0,5552 R-cuad. = 23,53% R-cuad.(ajustado) = 17,15%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

| %Harina de maiz | N | Media  | Agrupación |
|-----------------|---|--------|------------|
| 54              | 9 | 3,0081 | A          |
| 50              | 9 | 2,5580 | A B        |
| 46              | 9 | 2,3063 | B          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Figura 41. Prueba de comparación múltiples por Tukey para %Cenizas con respecto al %Harina de maíz.**

**ANOVA unidireccional: %Cenizas vs. %Cáscara de piña**

| Fuente           | GL | SC    | CM    | F    | P     |
|------------------|----|-------|-------|------|-------|
| %Cáscara de piña | 2  | 2,284 | 1,142 | 3,71 | 0,039 |
| Error            | 24 | 7,389 | 0,308 |      |       |
| Total            | 26 | 9,673 |       |      |       |

S = 0,5549 R-cuad. = 23,61% R-cuad.(ajustado) = 17,25%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

| %Cáscara de piña | N | Media  | Agrupación |
|------------------|---|--------|------------|
| 13               | 9 | 2,9906 | A          |
| 17               | 9 | 2,6026 | A B        |
| 8                | 9 | 2,2792 | B          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Figura 42. Prueba de comparación múltiples por Tukey para %Cenizas con respecto al %Cáscara de piña.**

Para el porcentaje de cenizas, el efecto de los factores e interacción entre ellos es diferente, ya que el valor p es menor al nivel de significancia, como se muestra en la figura 36, rechazando la hipótesis nula. Los supuestos se cumplen (figura 37, 38b, 39 y 40), menos la prueba de Bartlett (figura 38a) puesto que el valor p es menor a 0.05, indicando que la varianza de los errores no son constantes, por ello sería necesario una transformación; en la prueba de comparación de Tukey el efecto de los factores es diferente en la variable de respuesta, debido a que el valor  $p < 0.05$ . El efecto de los porcentajes de harina de maíz de 54% y 50% son iguales sobre el %Cenizas, al igual que los de 50% y 46%, pero difiere entre ellos, lo mismo sucede con el porcentaje de cáscara de piña, puesto que los niveles de 13% y 17% - 17% y 8% el efecto es igual sobre la variable de respuesta, pero diferente entre ellos.

## 8.4.5 FIBRA

### Modelo lineal general: %Fibra vs. %Harina de maiz. %Cáscara de piña

| Factor           | Tipo | Niveles | Valores    |
|------------------|------|---------|------------|
| %Harina de maiz  | fijo | 3       | 46. 50. 54 |
| %Cáscara de piña | fijo | 3       | 8. 13. 17  |

Análisis de varianza para %Fibra, utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente                           | GL | SC Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F     |
|----------------------------------|----|---------|-----------|-----------|-------|
| %Harina de maiz                  | 2  | 10,5186 | 10,5186   | 5,2593    | 94,78 |
| %Cáscara de piña                 | 2  | 0,7137  | 0,7137    | 0,3568    | 6,43  |
| %Harina de maiz*%Cáscara de piña | 4  | 5,9037  | 5,9037    | 1,4759    | 26,60 |
| Error                            | 18 | 0,9988  | 0,9988    | 0,0555    |       |
| Total                            | 26 | 18,1348 |           |           |       |

| Fuente                           | P     |
|----------------------------------|-------|
| %Harina de maiz                  | 0,000 |
| %Cáscara de piña                 | 0,008 |
| %Harina de maiz*%Cáscara de piña | 0,000 |
| Error                            |       |
| Total                            |       |

S = 0,235558 R-cuad. = 94,49% R-cuad. (ajustado) = 92,04%

Figura 43. ANOVA para el modelo de análisis del %Fibra.

### T de una muestra: RESID1

Prueba de  $\mu = 0$  vs.  $\mu \neq 0$

| Variable | N  | Media  | Desv.Est. | Error estándar de la media | IC de 95%         | T    | P     |
|----------|----|--------|-----------|----------------------------|-------------------|------|-------|
| RESID1   | 27 | 0,0000 | 0,1960    | 0,0377                     | (-0,0775. 0,0775) | 0,00 | 1,000 |

Figura 44. Validación supuesto 1 para %Fibra.

### Prueba de varianzas iguales: RESID1 vs. %Harina de maiz. %Cáscara de piña

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

| %Harina de maiz | %Cáscara de piña | N | Inferior | Desv.Est. | Superior |
|-----------------|------------------|---|----------|-----------|----------|
| 46              | 8                | 3 | 0,179091 | 0,434499  | 8,23830  |
| 46              | 13               | 3 | 0,057082 | 0,138488  | 2,62581  |
| 46              | 17               | 3 | 0,022877 | 0,055504  | 1,05237  |
| 50              | 8                | 3 | 0,086674 | 0,210282  | 3,98705  |
| 50              | 13               | 3 | 0,050661 | 0,122911  | 2,33045  |
| 50              | 17               | 3 | 0,069191 | 0,167866  | 3,18283  |
| 54              | 8                | 3 | 0,149839 | 0,363528  | 6,89266  |
| 54              | 13               | 3 | 0,061642 | 0,149552  | 2,83557  |
| 54              | 17               | 3 | 0,088705 | 0,215209  | 4,08047  |

Prueba de Bartlett (distribución normal)  
Estadística de prueba = 8,70. valor p = 0,368

Prueba de Levene (cualquier distribución continua)  
Estadística de prueba = 0,46. valor p = 0,871

Figura 45a. Validación supuesto 2 para %Fibra.

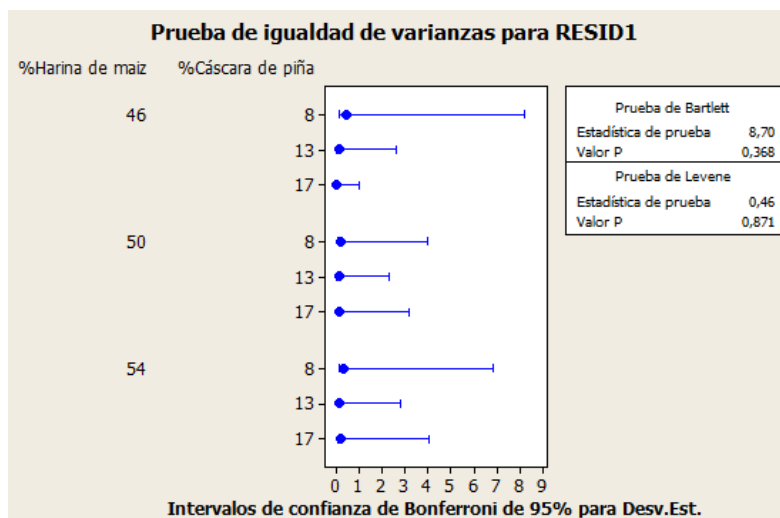


Figura 45b. Gráfica de la validación supuesto 2 para %Fibra.

**Prueba de corridas: RESID1**

Prueba de corridas para RESID1

Corridas por encima y por debajo de  $K = 6,250144E-16$

El número observado de corridas = 15

El número esperado de corridas = 14,4815

13 observaciones por encima de K. 14 por debajo

Valor P = 0,838

Figura 46. Validación supuesto 3 para %Fibra.

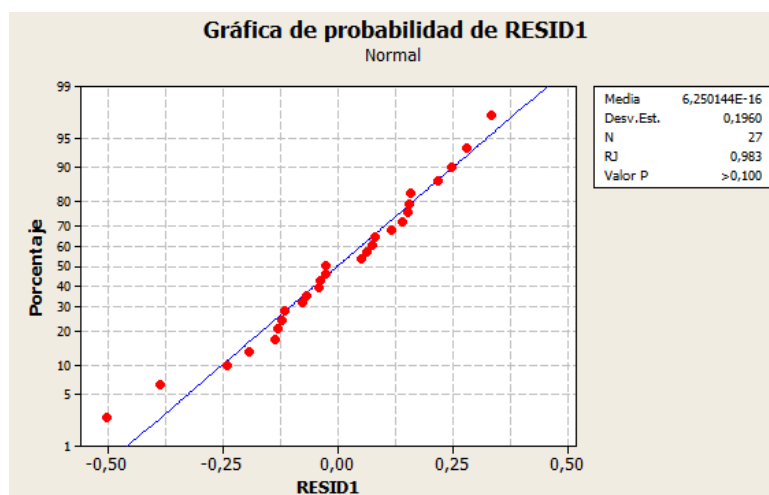


Figura 47. Validación supuesto 4 para %Fibra.

**ANOVA unidireccional: %Fibra vs. %Harina de maiz**

| Fuente          | GL | SC     | CM    | F     | P     |
|-----------------|----|--------|-------|-------|-------|
| %Harina de maiz | 2  | 10,519 | 5,259 | 16,57 | 0,000 |
| Error           | 24 | 7,616  | 0,317 |       |       |
| Total           | 26 | 18,135 |       |       |       |

S = 0,5633 R-cuad. = 58,00% R-cuad. (ajustado) = 54,50%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

| %Harina de maiz | N | Media  | Agrupación |
|-----------------|---|--------|------------|
| 50              | 9 | 5,4864 | A          |
| 46              | 9 | 4,1667 | B          |
| 54              | 9 | 4,1581 | B          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Figura 48. Prueba de comparación múltiples por Tukey para %Fibra con respecto al %Harina de maíz.**

**ANOVA unidireccional: %Fibra vs. %Cáscara de piña**

| Fuente           | GL | SC     | CM    | F    | P     |
|------------------|----|--------|-------|------|-------|
| %Cáscara de piña | 2  | 0,714  | 0,357 | 0,49 | 0,618 |
| Error            | 24 | 17,421 | 0,726 |      |       |
| Total            | 26 | 18,135 |       |      |       |

S = 0,8520 R-cuad. = 3,94% R-cuad. (ajustado) = 0,00%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

| %Cáscara de piña | N | Media  | Agrupación |
|------------------|---|--------|------------|
| 17               | 9 | 4,8269 | A          |
| 8                | 9 | 4,5401 | A          |
| 13               | 9 | 4,4442 | A          |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Figura 49. Prueba de comparación múltiples por Tukey para %Fibra con respecto al %Cáscara de piña.**

Para el porcentaje de fibra, el efecto de los factores e interacción entre ellos es diferente, ya que el valor p es menor al nivel de significancia, como se visualiza en la figura 43, rechazando la hipótesis nula. Los supuestos se cumplen (figura 44, 45a, 45b, 46 y 47), puesto que el valor p es mayor a 0.05, y en la prueba de comparación de Tukey el efecto del factor %Harina de maíz es diferente en la variable de respuesta (figura 48), ya que en 54% el efecto hacia el %Fibra es diferente al de 50% y 46% (e igual entre ellos) y el efecto del %Cáscara de piña es igual sobre el %Fibra, debido a que el valor p > 0.05 (figura 49).

## 8.4.6 CROMA

### Modelo lineal general: Croma vs. %Harina de maiz. %Cáscara de piña

| Factor           | Tipo | Niveles | Valores    |
|------------------|------|---------|------------|
| %Harina de maiz  | fijo | 3       | 46. 50. 54 |
| %Cáscara de piña | fijo | 3       | 8. 13. 17  |

Análisis de varianza para Croma, utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente                           | GL | SC Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F    |
|----------------------------------|----|---------|-----------|-----------|------|
| %Harina de maiz                  | 2  | 1,645   | 1,645     | 0,822     | 0,70 |
| %Cáscara de piña                 | 2  | 0,222   | 0,222     | 0,111     | 0,09 |
| %Harina de maiz*%Cáscara de piña | 4  | 1,225   | 1,225     | 0,306     | 0,26 |
| Error                            | 18 | 21,163  | 21,163    | 1,176     |      |
| Total                            | 26 | 24,255  |           |           |      |

| Fuente                           | P     |
|----------------------------------|-------|
| %Harina de maiz                  | 0,510 |
| %Cáscara de piña                 | 0,910 |
| %Harina de maiz*%Cáscara de piña | 0,899 |
| Error                            |       |
| Total                            |       |

S = 1,08430 R-cuad. = 12,75% R-cuad.(ajustado) = 0,00%

Figura 50. ANOVA para el modelo de análisis del croma.

### T de una muestra: RESID1

Prueba de  $\mu = 0$  vs.  $\mu \neq 0$

| Variable | N  | Media  | Desv.Est. | Error estándar de la media | IC de 95%       | T     | P     |
|----------|----|--------|-----------|----------------------------|-----------------|-------|-------|
| RESID1   | 27 | -0,000 | 0,902     | 0,174                      | (-0,357. 0,357) | -0,00 | 1,000 |

Figura 51. Validación supuesto 1 para el croma.

### Prueba de varianzas iguales: RESID1 vs. %Harina de maiz. %Cáscara de piña

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

| %Harina de maiz | %Cáscara de piña | N | Inferior | Desv.Est. | Superior |
|-----------------|------------------|---|----------|-----------|----------|
| 46              | 8                | 3 | 0,454415 | 1,10247   | 20,9033  |
| 46              | 13               | 3 | 0,336719 | 0,81692   | 15,4893  |
| 46              | 17               | 3 | 0,428916 | 1,04061   | 19,7304  |
| 50              | 8                | 3 | 0,531291 | 1,28898   | 24,4397  |
| 50              | 13               | 3 | 0,521694 | 1,26570   | 23,9982  |
| 50              | 17               | 3 | 0,384828 | 0,93364   | 17,7023  |
| 54              | 8                | 3 | 0,382391 | 0,92773   | 17,5902  |
| 54              | 13               | 3 | 0,403130 | 0,97805   | 18,5442  |
| 54              | 17               | 3 | 0,531593 | 1,28971   | 24,4536  |

Prueba de Bartlett (distribución normal)  
Estadística de prueba = 0,73. valor p = 0,999

Prueba de Levene (cualquier distribución continua)  
Estadística de prueba = 0,05. valor p = 1,000

Figura 52a. Validación supuesto 2 para el croma.

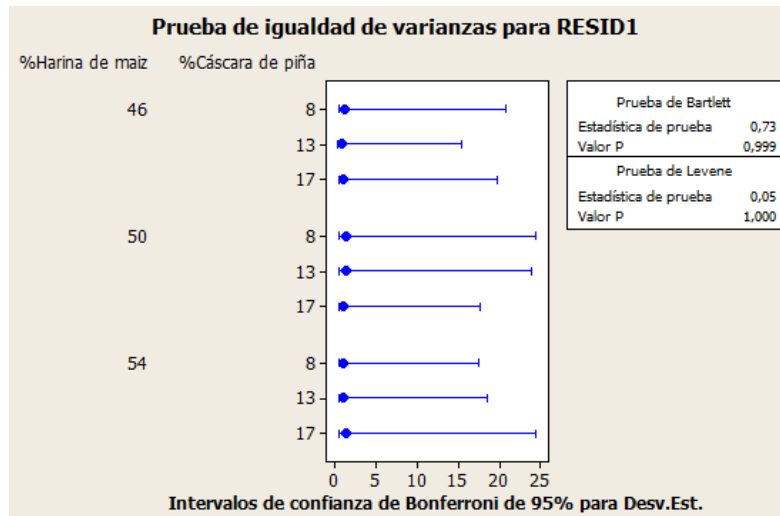


Figura 52b. Gráfica de la validación supuesto 2 para el croma.

#### Prueba de corridas: RESID1

Prueba de corridas para RESID1

Corridas por encima y por debajo de  $K = -6,57910E-16$

El número observado de corridas = 18

El número esperado de corridas = 13,5926

10 observaciones por encima de  $K$ . 17 por debajo

\*  $N$  es pequeño, por lo tanto la siguiente aproximación puede ser no válida.

Valor  $P = 0,063$

Figura 53. Validación supuesto 3 para el croma.

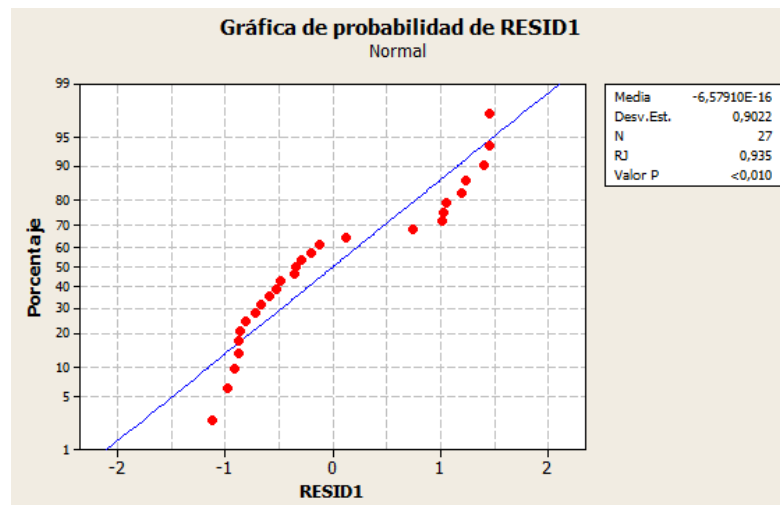


Figura 54. Validación supuesto 4 para el croma.

**ANOVA unidireccional: Croma vs. %Harina de maiz**

| Fuente          | GL | SC     | CM    | F    | P     |
|-----------------|----|--------|-------|------|-------|
| %Harina de maiz | 2  | 1,645  | 0,822 | 0,87 | 0,431 |
| Error           | 24 | 22,610 | 0,942 |      |       |
| Total           | 26 | 24,255 |       |      |       |

S = 0,9706   R-cuad. = 6,78%   R-cuad.(ajustado) = 0,00%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

| %Harina |   |         |            |  |
|---------|---|---------|------------|--|
| de maiz | N | Media   | Agrupación |  |
| 54      | 9 | 13,7656 | A          |  |
| 50      | 9 | 13,3811 | A          |  |
| 46      | 9 | 13,1693 | A          |  |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Figura 55. Prueba de comparación múltiples por Tukey para el croma con respecto al %Harina de maíz.**

**ANOVA unidireccional: Croma vs. %Cáscara de piña**

| Fuente           | GL | SC    | CM   | F    | P     |
|------------------|----|-------|------|------|-------|
| %Cáscara de piña | 2  | 0,22  | 0,11 | 0,11 | 0,896 |
| Error            | 24 | 24,03 | 1,00 |      |       |
| Total            | 26 | 24,25 |      |      |       |

S = 1,001   R-cuad. = 0,92%   R-cuad.(ajustado) = 0,00%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

| %Cáscara |   |        |            |  |
|----------|---|--------|------------|--|
| de piña  | N | Media  | Agrupación |  |
| 13       | 9 | 13,536 | A          |  |
| 17       | 9 | 13,462 | A          |  |
| 8        | 9 | 13,318 | A          |  |

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Figura 56. Prueba de comparación múltiples por Tukey para el croma con respecto al %Cáscara de piña.**

Para el croma, el efecto de los factores e interacción entre ellos es igual, ya que el valor p es mayor al nivel de significancia, como se ilustra en la figura 50, aceptando la hipótesis nula. Los supuestos 1, 2 y 3 se cumplen (figura 51, 52a, 52b y 53), puesto que el valor p es mayor a 0.05, pero el supuesto 4 no se cumple (figura 54), ya que el valor p es menor a 0.05, indicando que los errores no tienen una distribución normal y en la prueba de comparación de Tukey el efecto de los factores es igual sobre el croma, debido a que el valor  $p > 0.05$  (figura 55 y 56).

## 8.4.7 TONALIDAD

### Modelo lineal general: Tonalidad vs. %Harina de maiz. %Cáscara de piña

| Factor           | Tipo | Niveles | Valores    |
|------------------|------|---------|------------|
| %Harina de maiz  | fijo | 3       | 46. 50. 54 |
| %Cáscara de piña | fijo | 3       | 8. 13. 17  |

Análisis de varianza para Tonalidad, utilizando SC ajustada para pruebas

| Fuente                           | GL | SC Sec. | SC Ajust. | CM Ajust. | F    |
|----------------------------------|----|---------|-----------|-----------|------|
| %Harina de maiz                  | 2  | 1,229   | 1,229     | 0,614     | 0,21 |
| %Cáscara de piña                 | 2  | 1,425   | 1,425     | 0,713     | 0,24 |
| %Harina de maiz*%Cáscara de piña | 4  | 3,633   | 3,633     | 0,908     | 0,31 |
| Error                            | 18 | 52,778  | 52,778    | 2,932     |      |
| Total                            | 26 | 59,065  |           |           |      |

| Fuente                           | P     |
|----------------------------------|-------|
| %Harina de maiz                  | 0,813 |
| %Cáscara de piña                 | 0,787 |
| %Harina de maiz*%Cáscara de piña | 0,868 |
| Error                            |       |
| Total                            |       |

S = 1,71235 R-cuad. = 10,64% R-cuad. (ajustado) = 0,00%

Figura 57. ANOVA para el modelo de análisis de la tonalidad.

### T de una muestra: RESID1

Prueba de  $\mu = 0$  vs.  $\mu \neq 0$

| Variable | N  | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media | IC de 95%       | T    | P     |
|----------|----|-------|-----------|----------------------------|-----------------|------|-------|
| RESID1   | 27 | 0,000 | 1,425     | 0,274                      | (-0,564. 0,564) | 0,00 | 1,000 |

Figura 58. Validación supuesto 1 para la tonalidad.

### Prueba de varianzas iguales: RESID1 vs. %Harina de maiz. %Cáscara de piña

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

| %Harina de maiz | %Cáscara de piña | N | Inferior | Desv.Est. | Superior |
|-----------------|------------------|---|----------|-----------|----------|
| 46              | 8                | 3 | 0,882852 | 2,14191   | 40,6117  |
| 46              | 13               | 3 | 0,805712 | 1,95476   | 37,0632  |
| 46              | 17               | 3 | 0,717537 | 1,74084   | 33,0071  |
| 50              | 8                | 3 | 0,744204 | 1,80554   | 34,2338  |
| 50              | 13               | 3 | 0,606643 | 1,47179   | 27,9059  |
| 50              | 17               | 3 | 0,803716 | 1,94992   | 36,9714  |
| 54              | 8                | 3 | 0,435516 | 1,05662   | 20,0340  |
| 54              | 13               | 3 | 0,498825 | 1,21021   | 22,9462  |
| 54              | 17               | 3 | 0,730431 | 1,77212   | 33,6002  |

Prueba de Bartlett (distribución normal)  
Estadística de prueba = 1,32. valor p = 0,995

Prueba de Levene (cualquier distribución continua)  
Estadística de prueba = 0,14. valor p = 0,996

Figura 59a. Validación supuesto 2 para la tonalidad.

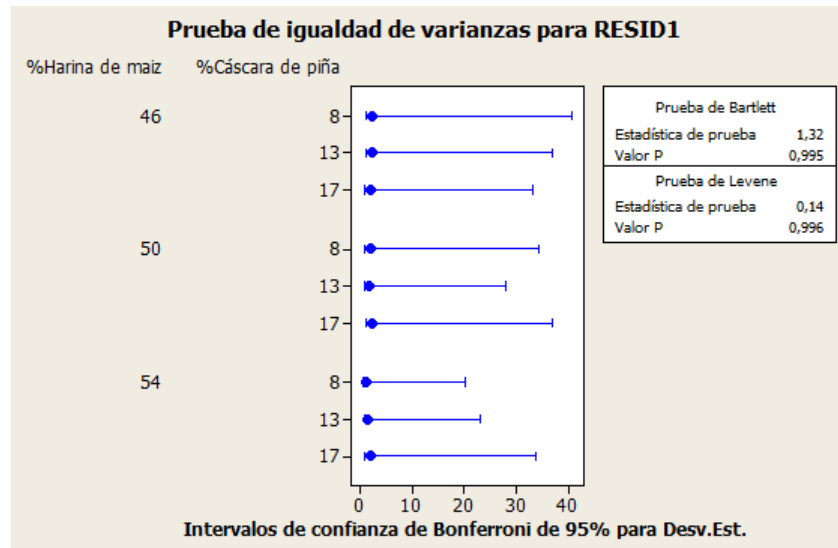


Figura 59b. Gráfica de la validación supuesto 2 para la tonalidad.

#### Prueba de corridas: RESID1

Prueba de corridas para RESID1

Corridas por encima y por debajo de  $K = 3,684296E-15$

El número observado de corridas = 18

El número esperado de corridas = 14,0370

11 observaciones por encima de K. 16 por debajo

Valor P = 0,107

Figura 60. Validación supuesto 3 para la tonalidad.

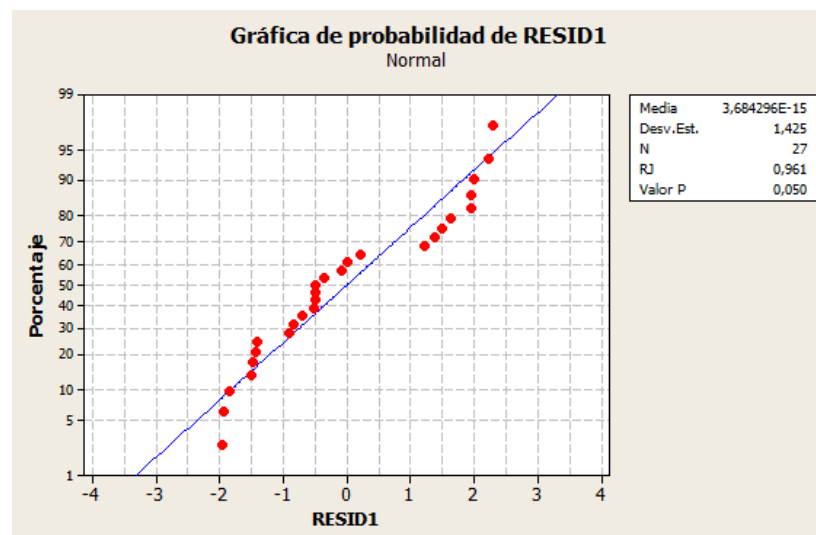


Figura 61. Validación supuesto 4 para la tonalidad.

```
ANOVA unidireccional: Tonalidad vs. %Harina de maiz

Fuente          GL      SC      CM      F      P
%Harina de maiz  2      1,23   0,61   0,25   0,777
Error           24     57,84   2,41
Total           26     59,07

S = 1,552   R-cuad. = 2,08%   R-cuad. (ajustado) = 0,00%

Agrupar información utilizando el método de Tukey
|
%Harina
de maiz  N      Media  Agrupación
54       9      81,157  A
46       9      80,784  A
50       9      80,653  A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.
```

**Figura 62. Prueba de comparación múltiples por Tukey para la tonalidad con respecto al %Harina de maíz.**

```
ANOVA unidireccional: Tonalidad vs. %Cáscara de piña

Fuente          GL      SC      CM      F      P
%Cáscara de piña  2      1,43   0,71   0,30   0,746
Error           24     57,64   2,40
Total           26     59,07

S = 1,550   R-cuad. = 2,41%   R-cuad. (ajustado) = 0,00%

Agrupar información utilizando el método de Tukey
|
%Cáscara
de piña  N      Media  Agrupación
13       9      81,188  A
17       9      80,729  A
8        9      80,677  A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.
```

**Figura 63. Prueba de comparación múltiples por Tukey para la tonalidad con respecto al %Cáscara de piña.**

Para la tonalidad, el efecto de los factores e interacción entre ellos es igual, ya que el valor p es mayor al nivel de significancia, como se muestra en la figura 57, aceptando la hipótesis nula. Los supuestos se cumplen (figura 58, 59a, 59b, 60 y 61), puesto que el valor p es mayor a 0.05, y en la prueba de comparación de Tukey el efecto de los factores es igual sobre la tonalidad, debido a que el valor  $p > 0.05$  (figura 62 y 63).

En general, estadísticamente, los análisis fisicoquímicos realizados como el índice de absorción en agua, porcentaje de cenizas y fibra, se ven afectados por la composición de la mezcla (factores de porcentaje de harina maíz y cáscara de piña), ya que los demás análisis no muestran variaciones a causa de los factores. Se debe tener en cuenta que el porcentaje de especias también puede afectar estos análisis.

Cada uno de los componentes de la harina compuesta juega un papel importante en los análisis fisicoquímicos y sensoriales, por un lado, la harina de maíz afecta la humedad de la formulación al ser el mayor componente, también aumenta el porcentaje de cenizas, por otra parte, la fibra de cáscara de piña brinda un alto porcentaje de fibra cruda, junto con la harina de maíz incrementan el índice de absorción de agua a causa de la celulosa, lignina y almidón, que retienen gran cantidad de agua. El bajo contenido de estas materias primas, aumentan el índice de solubilidad en agua, ya que será menor la presencia de carbohidratos estructurales que puedan absorber agua.

Las formulaciones con mayores cambios en los análisis fisicoquímicos son la 1, 3, 5, 8 y 9, debido a que las cantidades entre los diferentes componentes de la mezcla, varían en gran proporción interactuando entre sí, originando un conjunto de mezclas o formulaciones con diversas características apropiadas a lo que es conocido como sazonador. Cabe resaltar que la formulación 1 (46% de harina de maíz: 8% de cáscara de piña y 46% de especias) fue la de mayor aceptación sensorialmente y la formulación 5 (50% de harina de maíz: 17% de cáscara de piña y 33% de especias) por presentar el más alto porcentaje de fibra, es la mejor en aspectos funcionales.

Por último, la NTC 4423 menciona algunas empresas fabricantes de este tipo de alimento siendo: CALÉNDULA LTDA CALIER DE COLOMBIA , COMPAÑÍA NACIONAL DE CEREALES , COMPAÑÍA NACIONAL DE CHOCOLATES , CONDIMENTOS EL REY, CONDIMENTOS MONSERRATE, CONDITA LTDA, DON MAGOLO, EL AS LTDA, EL TRÉBOL, FRUGAL S.A., FRUTERA COLOMBIANA DISA S.A., GRIFFITH DE COLOMBIA, INVIMA, LA TABLITA, LLOREDA S.A., MINISTERIO DE SALUD , NESTLÉ DE COLOMBIA , PRODUCTOS EL PRÍNCIPE, PRODUCTOS MARGARITA S.A., RHONE POULANC y TRIGUISAR DE COLOMBIA, permitiéndonos conocer más sobre el mercado de las especias y sazonadores.

## 9. CONCLUSIONES

- 9.1 Se logró desarrollar un producto sazonador compuesto de harina de maíz y fibra de cáscara de piña como vehiculizante de dos especias (pimienta y comino).
- 9.2 La caracterización de las materias primas permitió la estabilidad del producto final.
- 9.3 El porcentaje de fibra de cáscara de piña juega un papel importante en los análisis fisicoquímicos ya que con su adición aumenta el porcentaje de fibra, además junto con la harina de maíz incrementan el índice de absorción en agua (IAA) y el poder de hinchamiento (PH), debido a que los almidones del maíz y carbohidratos estructurales de la fibra absorben agua.
- 9.4 La poca variación entre los parámetros del color como luminosidad, croma, tonalidad, y cambio de color, evidencian que las diferentes formulaciones son estables a las condiciones ambientales, debido a que no cambia mucho el color en el tiempo.
- 9.5 La composición química de las diferentes formulaciones de la harina compuesta dependen de la cantidad de materias primas presente en ellas.
- 9.6 El desarrollo de la harina compuesta permite el aprovechamiento de los residuos de la industria frutícola otorgándoles un enfoque diferente.
- 9.7 Mediante el análisis sensorial se logró determinar que la formulación de mayor aceptación por el panel semi-entrenado, fue la formulación 1, compuesta por 8% de fibra de cáscara de piña, 46% de harina de maíz y 46% de especias.
- 9.8 La formulación No. 5 contiene alrededor de 5.92% en fibra de cáscara de piña, lo que la convierte en la formulación ideal para el desarrollo del producto como un alimento funcional que permite el aprovechamiento a los residuos obtenidos del procesamiento de la piña.

## **10. RECOMENDACIONES**

10.1 Debido a que la pimienta puede enmascarar las características sensoriales del comino, se podría realizar una nueva formulación que logre balancear tanto sabor, como olor de ambas especias.

10.2 Adición de sal, si el producto se desea llevar al mercado.

10.3 Análisis de vida útil, para determinar si es necesario la adición de conservantes.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguinaga, A., (1996) *Manejo de sólidos y fluidos*, Centro de Publicaciones de Regionalización Universidad del Valle, Colombia.
2. Andrade, R., Torres, R., Montes, E., Chávez, M. & Naar, V. (2007). Elaboración de un sazónador a base de harina de cabezas de camarón de cultivo (*Penaeus sp*). *Revista de la facultad de química farmacéutica, VITAE (Universidad de Antioquia)*, 14(2), 109-113.
3. Arguinzones, U. (2009). *El maíz y los productos de su industrialización*. México: Editorial Trillás.
4. Arias, L. (2015). *Experiencia profesional dirigida para el desarrollo de actividades de análisis en el laboratorio de nutrición animal de la UPTC*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente, Colombia.
5. Avella, J., Valenzuela, A., Quisphi, M., Gómez, A & Gamboni, S. (2014). *Aprovechamiento residuos biomasa de producción de piña (Ananas comosus) en el municipio de Aguazul Casanare*. Unión temporal Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Colombia.
6. Barrera, H. & Rodríguez, A. (2012). *Elaboración de un alimento balanceado para pollitas con aceite esencial de orégano*. (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Facultad de ingeniería, Colombia.
7. Boscarol, M. (2007). *El espacio del color L\*C\*h*. Recuperado el 12 de mayo del 2015; de [http://www.gusgsm.com/espacio\\_color\\_lch](http://www.gusgsm.com/espacio_color_lch).
8. Brennan J., Butters, J.R., Cowell, N.D. & Lilly, A.E.V. (1980). *Las operaciones de la ingeniería de los alimentos*. España: Editorial Acribia.
9. Cañas, Z., Restrepo, D. & Cortes, M. (2011). Revisión: Productos vegetales como fuente de fibra dietaria en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 64(1), 6023-6035.
10. Cerezal, P. & Duarte, G. (2005). *Utilización de cáscaras en la elaboración de productos concentrados de tuna (Opuntia ficus-indica (L.) Miller)*. Chile.
11. Chávez, L., Méndez, G., Gracia, L., Díaz, J. & Pérez, M. (2009). Utilización de subproductos agroindustriales como fuente de fibra para productos cárnicos. *Revista Nacameh*, 3(2), 72.

12. Combariza, A. & Sánchez, D. (2006). Estudio de la obtención de un alimento precocido a partir de cultivos biofortificados. (Tesis de pregrado). Universidad del Valle, Facultad de ingeniería, Colombia.
13. Contreras, B. (2009). Caracterización de harina de maíz instantánea obtenida por calentamiento óhmico. (Tesis de maestría). Instituto politécnico nacional, Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, México.
14. Flórez, O., Román, O. Martínez, O., Gutiérrez, L. & Medina, G. (2006). Optimización de un preparado solido de fibra dietaria a partir de diferentes residuos de frutas. *Revista de la facultad de química farmacéutica, VITAE (Universidad de Antioquia)*, 13(1), 10-15.
15. Geankoplis, C. 1998. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. México: Compañía editorial continental S.A de C.V. Tercera edición.
16. Gonzáles A. M. 2007. *El color en la industria de los alimentos*. Ciudad de La Habana: Editorial Universitaria.
17. Guinand, C. (2013). *Formulación de una masa para pizza libre de gluten utilizando harinas alternativas*. (Tesis de pregrado). Universidad San Buenaventura Cali, Facultad de ingeniería, Colombia.
18. Hirasa, K., & Takemasa, M. (2002). *Ciencia y tecnología de las especias*. España: Editorial Acribia S.A.
19. IICA-BID-PROCIANDINO. (1991). *Experiencias en el cultivo del maíz en el área Andina*. Ecuador: Edición PROCIANDINO.
20. Iglesias, M. 2012. Especies y hierbas aromáticas. *Como utilizarlas para aprovechar todas sus virtudes*. Ediciones LEA.
21. Leslie, M., & Fisher, H., (1971). *Análisis moderno de los alimentos*. España: Editorial Acribia.
22. Linko, P., Colonna, P. & Mercier, C.H. (1981). *High Temperature Short Time Extrusion Cooking Advance in Cereal Science and Technology*. Vol. IV Cap 4.
23. Martínez, A. G. (2010). *Preelaboración y Conservación de Alimentos*. Ediciones Akal.

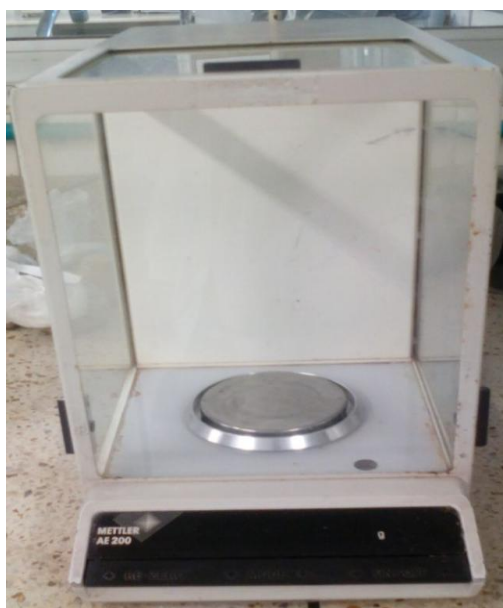
24. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4423. Industria alimentaria. Especies y condimentos. Ratificada 1998-08-26, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Bogotá.
25. Olvera, M., Martínez, C. & Real, E. (1993). *Manual de técnica para laboratorio de nutrición de peces y crustáceos*. Recuperado el 7 de abril del 2015, de <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab489s/AB489S00.htm#TOC>.
26. Páez, M. (2012). *Elaboración de una harina compuesta de trigo, garbanzo y brócoli y evaluación de algunas propiedades fisicoquímicas*. (Tesis de pregrado). Universidad del Valle, Facultad de ingeniería, Colombia.
27. Pereira, J. (2010). *¿Cómo se si mi perfil de color es correcto?* Recuperado el 21 de mayo del 2015, de <http://www.jpereira.net/rough-profiler/validar-perfil-color-icc-delta-e>.
28. Ramírez, A. & Pacheco, E. (2009). Propiedades funcionales de harinas altas en fibra dietética obtenidas de piña, guayaba y guanábana. *Revista Interciencia*. 24(4).
29. Ryman, D. (1991). *Aromatherapy*. España: Editorial Kairós S. A.
30. Rosero, M., Villacrés, E. & Bravo, J. (2012). *Estimación de la estabilidad de un sazónador a base de amaranto reventado y maní tostado, a partir del índice de peróxidos*. Ecuador: Universidad Tecnológica Equinoccial.
31. Sin Autor. (2008). *El comino*. Recuperado el 29 de abril de 2014, de [http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/aprender\\_a\\_comer\\_bien/complementos\\_dieteticos/2008/03/24/104926.php](http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/aprender_a_comer_bien/complementos_dieteticos/2008/03/24/104926.php)
32. Sin Autor. (Sin año). *Nuevas oportunidades con residuos agroindustriales tropicales*. Recuperado el 29 de abril de 2014, de [http://www.altec2013.org/programme\\_pdf/50.pdf](http://www.altec2013.org/programme_pdf/50.pdf).
33. Tainter, D. R. & Grenis, A. T. (1996). *Especies y aromatizantes alimentarios*. España: Editorial Acribia S.A.
34. Vindas, L. (2014). *Residuos de piña, palmito y zanahoria sirven para fabricar repostería*. Recuperado el 29 de abril de 2014, de [http://www.elfinancierocr.com/negocios/Residuos-palmito-zanahoria-fabricar-reposteria\\_0\\_464953512.html](http://www.elfinancierocr.com/negocios/Residuos-palmito-zanahoria-fabricar-reposteria_0_464953512.html).

35. Yepes, S., Montoya, L. & Orozco, F. (2008). Valoración de residuos agroindustriales-Frutas-En Medellín y el sur del Valle del Aburrá, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(1), 4422-4431.
36. Zudaire, M. (2011). *El tarro de las especias*. Recuperado el 29 de abril de 2014, de [http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/aprender\\_a\\_comer\\_bien/curiosidades/2011/09/23/203311.php](http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/aprender_a_comer_bien/curiosidades/2011/09/23/203311.php).

## 12. ANEXOS



**Figura A1. Mufla para incinerar muestras**



**Figura A2. Balanza analítica**



**Figura A3. Baño maría para (Índices ISA, IAA)**



**Figura A4. Centrifuga SIGMA**



**Figura A5. Ro- tap y serie de tamices TYLER**



**Figura A6. Colorímetro HUNTERLAB**

**FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA INGENIERIA DE ALIMENTOS  
UTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE PIÑA Y HARINA DE MAIZ EN LA VEHICULIZACIÓN DE ESPECIAS  
Mayra Carabalí y Ángela Galindo**

Sexo: F \_\_\_\_ M \_\_\_\_

A continuación se le presentará una bandeja con dos muestras de pollo, a las cuales se le ha añadido un producto sazónador, por favor valore las características indicadas de acuerdo a los distintos niveles de agrado marcando la casilla con una X del término que más describa lo que usted siente por la muestra, donde:  
1 me disgusta mucho, 2 me disgusta, 3 ni me gusta ni me disgusta, 4 me gusta y 5 me gusta mucho.

| Parámetros                             | Muestra 779 |   |   |   |   | Muestra 258 |   |   |   |   |
|----------------------------------------|-------------|---|---|---|---|-------------|---|---|---|---|
|                                        | 1           | 2 | 3 | 4 | 5 | 1           | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Sabor a pimienta                       |             |   |   |   |   |             |   |   |   |   |
| Sabor a comino                         |             |   |   |   |   |             |   |   |   |   |
| Aceptabilidad general de sabor         |             |   |   |   |   |             |   |   |   |   |
| Olor                                   |             |   |   |   |   |             |   |   |   |   |
| Textura (partículas ajenas a la carne) |             |   |   |   |   |             |   |   |   |   |
| Color                                  |             |   |   |   |   |             |   |   |   |   |

¿Cuál de las dos muestras prefiere? 779 \_\_\_\_ 258 \_\_\_\_

Comentarios:

**Figura A7. Encuesta para la evaluación sensorial de la harina compuesta.**



**Figura A8. Harina compuesta.**

**Tabla A1. Índices de absorción y solubilidad en agua de las diferentes formulaciones de la harina compuesta.**

| <b>Formulación</b>                                | <b>IAA (g gel/g muestra)</b> | <b>ISA (g sobrenadante seco/ g muestra)</b> |
|---------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>1. H<sub>3</sub>C<sub>3</sub>E<sub>7</sub></b> | 4,89 ± 0,36                  | 8,63 ± 0,41                                 |
| <b>2. H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>E<sub>3</sub></b> | 4,99 ± 0,28                  | 7,65 ± 0,13                                 |
| <b>3. H<sub>1</sub>C<sub>1</sub>E<sub>1</sub></b> | 5,17 ± 0,07                  | 7,56 ± 0,46                                 |
| <b>4. H<sub>1</sub>C<sub>3</sub>E<sub>4</sub></b> | 4,75 ± 0,49                  | 7,40 ± 0,25                                 |
| <b>5. H<sub>2</sub>C<sub>1</sub>E<sub>2</sub></b> | 4,81 ± 0,39                  | 7,66 ± 0,26                                 |
| <b>6. H<sub>2</sub>C<sub>3</sub>E<sub>6</sub></b> | 4,68 ± 0,22                  | 8,02 ± 0,42                                 |
| <b>7. H<sub>3</sub>C<sub>1</sub>E<sub>3</sub></b> | 4,82 ± 0,10                  | 7,69 ± 0,66                                 |
| <b>8. H<sub>3</sub>C<sub>2</sub>E<sub>5</sub></b> | 4,57 ± 0,16                  | 8,07 ± 0,07                                 |
| <b>9. H<sub>1</sub>C<sub>2</sub>E<sub>2</sub></b> | 4,67 ± 0,27                  | 6,96 ± 0,37                                 |