



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS**

**TEMA:**

---

Estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo en el desarrollo de películas biodegradables.

---

Proyecto de Trabajo de Titulación, Modalidad Proyecto de Investigación, previa a la obtención de título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

Este trabajo es parte del Proyecto “Desarrollo de películas biodegradables activas a partir de harina de plátano (Genero Musa) de rechazo y su aplicación Agroalimentaria” aprobado por el Honorable Concejo Universitario. Resolución 1313-CU-P-2015, financiado por la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) de la Universidad Técnica de Ambato y el convenio entre la Universidad Técnica de Ambato y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina, Departamento de Nutrición y Calidad.

**AUTORA:** Johana Elizabeth Ortega Alvarado

**Tutor:** Lic. Ignacio Echeverría Ph.D.

**AMBATO-ECUADOR**

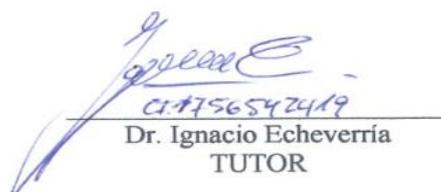
**Abril 2016**

## APROBACIÓN DEL TUTOR

**Lic. Ignacio Echeverría Ph.D**

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto autorizo la presentación de éste Trabajo de Titulación bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que corresponde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad

Ambato, 25 de Febrero del 2016.



C.I. 7156542419  
Dr. Ignacio Echeverría  
TUTOR

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Johana Elizabeth Ortega Alvarado, manifiesto que los resultados obtenidos en el proyecto de investigación, previo la obtención del título de Ingeniería en Alimentos son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas.



Johana Elizabeth Ortega Alvarado

CI. 050379797-9

**AUTORA**

## APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores calificadores, aprueban el presente trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firmar:



**Presidente del Tribunal**



**Ph.D. Dayana Cristina Morales Acosta**  
CI. 180413557-0



**Ph.D. Milton Ruben Ramos Moya**  
CI. 1801119635

Ambato, 25 de Febrero del 2016.

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de éste proyecto de investigación o parte de él un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de éste Proyecto dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Johana Elizabeth Ortega Alvarado

CI. 050379797-9

**AUTORA**

## DEDICATORIA

*A mi amada madre por su amor,  
sacrificio y apoyo incondicional  
para que pueda cumplir esta meta.*

*Johana*

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios por su amor infinito y bondad, por cuidarme en cada uno de los caminos recorridos, para lograr culminar mi carrera universitaria.*

*A La Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos por haberme acogido como un segundo hogar y formado profesionalmente.*

*A mi tutor Ph.D. Ignacio Echeverría, por su ayuda y confianza para cumplir con el desarrollo de este proyecto de Tesis. A la Ing. Wilma Llerena por su ayuda incondicional durante mi trabajo de tesis y a cada uno de los docentes que me ayudaron con su granito de arena Ph.D. Sandra Orvitz, Ph.D. Ignacio Angos Dioslepague.*

*A mis queridos Padres por apoyarme en cada una mis decisiones y por ser mi ejemplo a seguir. A mis hermanas Silvana, Mónica, Cristina y María gracias por cada uno de sus consejos y a los tesoros de mi vida mis sobrinos Ashly y José, que con su inocencia y alegría no me dejaron caer.*

*A mis queridas amigas Fernanda, Silvia, Vanessa, Belén Malu, Vivi, Aleja, por los mejores momentos compartidos. A mi novio William por llegar en el momento indicado y por cada una de sus palabras de aliento para no desistir, infinitas gracias.*

*Johana*

## ÍNDICE GENERAL

### PÁGINAS PRELIMINARES

|  |       |
|--|-------|
| Portada.....   | i     |
| Aprobación del tutor .....                             | ii    |
| Declaración de autenticidad .....                      | iii   |
| Aprobación de los miembros del tribunal de grado ..... | iv    |
| Derechos de autor.....                                 | v     |
| Dedicatoria .....                                      | vi    |
| Agradecimientos .....                                  | vii   |
| Índice general .....                                   | viii  |
| Resumen.....   | xvii  |
| Abstract .....   | xviii |
| Introducción .....                                     | xix   |
| CAPITULO I.....  | 22    |
| El problema .....                                      | 22    |
| 1.1. Tema de investigación .....                       | 22    |
| 1.2. Justificación .....                               | 22    |
| 1.3. Objetivos.....                                    | 23    |
| 1.3.1.    Objetivo General.....                        | 23    |
| 1.3.2.    Objetivos Específicos .....                  | 23    |
| CAPITULO II .....                                      | 24    |
| Marco teórico .....                                    | 24    |
| 2.1. Antecedentes investigativos.....                  | 24    |
| 2.2. Hipótesis .....                                   | 26    |
| 2.3. Señalamiento de las variables .....               | 26    |
| Variables independientes.....                          | 26    |
| Variable dependiente .....                             | 26    |
| CAPITULO III.....                                      | 27    |
| Materiales y métodos .....                             | 27    |
| 3.1. Materiales.....                                   | 27    |
| 3.3.1.    Muestra .....                                | 27    |

|  |    |
|--|----|
| 3.2. Métodos .....   | 28 |
| 3.2.1. Caracterización fisicoquímica de la materia prima.....        | 28 |
| Caracterización física.....  | 28 |
| Caracterización química .....  | 29 |
| 3.2.2. Aislamiento de almidón de banano.....                         | 29 |
| 3.2.3. Forma y tamaño de los gránulos de almidón .....               | 30 |
| 3.2.4. Obtención de harina de banano.....                            | 31 |
| 3.2.5. Caracterización física de la harina de banano.....            | 32 |
| Granulometría .....  | 32 |
| Densidad aparente.....   | 33 |
| Color de la harina.....  | 33 |
| 3.2.6. Características químicas de la harina de banano .....         | 34 |
| Almidón total .....  | 34 |
| Contenido de amilosa.....  | 35 |
| Contenido de fibra cruda.....  | 36 |
| 3.2.7. Características funcionales de la harina de banano .....      | 36 |
| Capacidad de retención de agua.....                                  | 36 |
| Solubilidad (SOL) y factor de hinchamiento (FH) .....                | 37 |
| 3.2.8. Elaboración de películas biodegradables .....                 | 38 |
| 3.2.9. Propiedades ópticas de las películas biodegradables.....      | 38 |
| Color .....  | 38 |
| 3.2.10. Propiedades de barrera de las películas biodegradables ..... | 39 |
| Permeabilidad al vapor de agua .....                                 | 39 |
| Solubilidad al agua.....   | 40 |
| 3.2.11. Propiedades mecánicas de las películas biodegradables.....   | 41 |
| Punción .....  | 41 |
| 3.3. Plan de procesamiento de la información .....                   | 42 |
| 3.4. Diseño experimental .....                                       | 42 |
| CAPITULO IV.....   | 43 |
| Resultados y discusión .....   | 43 |
| 4.1. Análisis y discusión de los resultados.....                     | 43 |
| 4.1.1. Muestra .....   | 43 |

|                                 |   |    |
|---------------------------------|---|----|
| 4.1.2.                          | Caracterización de la fruta .....                               | 45 |
|                                 | Caracterización Física.....                                     | 45 |
|                                 | Caracterización Química.....                                    | 46 |
| 4.1.3.                          | Caracterización física del almidón.....                         | 47 |
|                                 | Forma y tamaño de los gránulos de almidón .....                 | 47 |
|                                 | Rendimiento de la fruta.....                                    | 48 |
| 4.1.4.                          | Elaboración de harina de banano .....                           | 48 |
|                                 | Cinética de secado .....  | 48 |
|                                 | Rendimiento de la harina .....                                  | 49 |
| 4.1.5.                          | Propiedades físicas de la harina de banano.....                 | 50 |
|                                 | Granulometría .....   | 50 |
|                                 | Densidad .....  | 50 |
|                                 | Color de las harinas.....                                       | 51 |
| 4.1.6.                          | Propiedades químicas de la harina.....                          | 53 |
| 4.1.7.                          | Propiedades Funcionales de la harina de banano de rechazo ..... | 54 |
|                                 | Capacidad de Retención de Agua (CRA) .....                      | 54 |
|                                 | Poder de hinchamiento (PH) e índice de solubilidad.....         | 55 |
|                                 | Color .....   | 57 |
| 4.1.8.                          | Propiedades Mecánicas.....                                      | 59 |
|                                 | Punción .....   | 59 |
| 4.1.9.                          | Propiedades de Barrera .....                                    | 61 |
|                                 | Permeabilidad al vapor de agua .....                            | 61 |
|                                 | Solubilidad al agua de películas biodegradables .....           | 63 |
| 4.2.                            | Verificación de la hipótesis.....                               | 65 |
| CAPITULO V .....                |   | 70 |
| 5.1.                            | Conclusiones.....   | 70 |
| 5.2.                            | Recomendaciones .....   | 72 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... |   | 73 |
| 6.1.                            | BIBLIOGRAFÍA .....  | 73 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Diseño experimental .....   | 42 |
| Tabla 2. Combinaciones de los tratamientos.....  | 42 |
| Tabla 3. Caracterización física de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish.....  | 46 |
| Tabla 4. Propiedades químicas del banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish.....   | 46 |
| Tabla 5. Tamaño del gránulo de almidón aislado de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish .....  | 48 |
| Tabla 6. Rendimiento del almidón de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish.....   | 48 |
| Tabla 7. Granulometría de harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish: Módulo de finura y módulo de uniformidad.....   | 50 |
| Tabla 8. Densidad aparente de harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish.....   | 51 |
| Tabla 9. Color de la harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish.....  | 51 |
| Tabla 10. Valor p de los parámetros de Color de Harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish. ....  | 53 |
| Tabla 11. Caracterización química de la harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish .....  | 53 |
| Tabla 12. Valor p de las propiedades químicas de la harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish: Almidón, Amilosa y Fibra .....  | 54 |
| Tabla 13. Propiedades funcionales de la harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish .....  | 56 |
| Tabla 14. Valor p de las propiedades funcionales de harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish.....   | 57 |
| Tabla 15. Color de las películas biodegradables de harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish.....  | 58 |
| Tabla 16. Valores p de los parámetros de color de las películas biodegradables de harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish: Diferencial de color, Índice de amarillez e Índice de blancura..... | 58 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 17. Valores p de los parámetros de fuerza de punción y deformación de punción de películas biodegradables de harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish ..... | 60 |
| Tabla 18. Permeabilidad al vapor de agua (PVA) de las películas biodegradables de harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish .....                                  | 63 |
| Tabla 19. Solubilidad al agua de películas biodegradables de harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish.....  | 64 |
| Tabla 20. Valores p de la permeabilidad al vapor de agua (PVA) y la solubilidad de películas biodegradables de harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish.....      | 64 |
| Tabla 21. Análisis de varianza para tono (°Hue) - Suma de Cuadrados Tipo III .....   | 81 |
| Tabla 22. Análisis de varianza para cromaticidad - Suma de Cuadrados Tipo III.....   | 81 |
| Tabla 23 .Análisis de varianza para índice de blancura IB - Suma de Cuadrados Tipo III.....  | 81 |
| Tabla 24. Análisis de varianza para almidón - Suma de Cuadrados Tipo III .....   | 81 |
| Tabla 25. Análisis de varianza para amilosa - Suma de Cuadrados Tipo III.....  | 82 |
| Tabla 26. Análisis de varianza para fibra bruta - Suma de Cuadrados Tipo III.....  | 82 |
| Tabla 27. Análisis de varianza para capacidad de retención de agua (CRA) - Suma de Cuadrados Tipo III .....  | 82 |
| Tabla 28. Análisis de varianza para poder de hinchamiento (PH) - Suma de Cuadrados Tipo III .....  | 82 |
| Tabla 29. Análisis de varianza para solubilidad (SOL) - Suma de Cuadrados Tipo III .....   | 83 |
| Tabla 30. Análisis de varianza para diferencial de color - Suma de Cuadrados Tipo III.....   | 84 |
| Tabla 31. Análisis de varianza para índice de amarillez - Suma de Cuadrados Tipo III .....   | 84 |
| Tabla 32. Análisis de varianza para índice de blancura - Suma de Cuadrados Tipo III .....  | 84 |
| Tabla 33. Análisis de varianza para fuerza de punción - Suma de Cuadrados Tipo III .....   | 84 |

|   |    |
|---|----|
| Tabla 34. Análisis de varianza para distancia de punción- Suma de Cuadrados Tipo III..... | 85 |
| Tabla 35. Análisis de varianza para solubilidad - Suma de Cuadrados Tipo III.....         | 85 |
| Tabla 36. Análisis de varianza para Permeabilidad (PVA) - Suma de Cuadrados Tipo III..... | 85 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Caracterización física de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish.....  | 28 |
| Figura 2. Caracterización química de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish.....   | 29 |
| Figura 3. Proceso de obtención del almidón de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish .....   | 30 |
| Figura 4. Observación microscópica de los gránulos de almidón de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish. A. Muestra de almidón en portaobjeto; B. Microscopio óptico EVOS X-L. ....      | 31 |
| Figura 5. Proceso de elaboración de harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish .....   | 31 |
| Figura 6. Tamizado de la harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish.....   | 32 |
| Figura 7. Proceso de evaluación de densidad aparente de la harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish: A. Pesado; B. Muestra compacta de harina.....                               | 33 |
| Figura 8. Proceso de determinación de color de la harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish. A. Muestra de harina de banano; B. Determinación de color; C. Lectura de color ..... | 34 |
| Figura 9. Proceso para la determinación de almidón total en el banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish.....   | 35 |
| Figura 10. Proceso para la determinación de fibra cruda en harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish.....   | 36 |
| Figura 11. Proceso de cuantificación de fibra cruda en harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish.....   | 36 |
| <b>Figura 12.</b> Proceso para la determinación de las propiedades funcionales de la harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo .....   | 37 |
| Figura 13. Proceso para la elaboración de películas biodegradables de harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish.....  | 38 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 14. Proceso para la Determinación de color en películas biodegradables a base de harina de banana ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish: A. Película de harina de banana; B. Medición de color.....                                  | 39 |
| Figura 15. Pasos en la determinación de la permeabilidad al vapor de agua en películas biodegradables a base de harina de banana ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish. ....  | 39 |
| Figura 16. Pasos en la determinación de solubilidad de las películas biodegradables a base de harina de banana ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish: A. Películas de 4 cm <sup>2</sup> ; B. Películas en inmersión de agua; C. Secado..... | 40 |
| Figura 17. Prueba de punción de las películas biodegradables a base de harina de banana ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish.....  | 41 |
| Figura 18. Ubicación geográfica (UTM) de haciendas productoras de banana de exportación en la provincia de El Oro.....   | 43 |
| Figura 19. Ubicación geográfica (UTM) de haciendas productoras de banana de exportación en la provincia de Los Ríos. ....  | 44 |
| Figura 20. Volumen de producción, volumen de rechazo y superficie cosechada de banana en cinco haciendas exportadoras de banana ( <i>Musa acuminata</i> AAA).....  | 44 |
| Figura 21. Principales defectos del banana de rechazo como: A. Estropeo; B. Deformación; C. Plaga; D. Manos curvas.....  | 45 |
| Figura 22. Microfotografías de almidón de banana ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish .....  | 47 |
| Figura 23. Pérdida de humedad de banana ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish.....  | 49 |
| Figura 24. Rendimiento de la harina de banana ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish.....  | 49 |
| Figura 25. Capacidad de retención de agua (CRA g de agua/g de muestra) de la harina de banana ( <i>Musa Acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish. ....   | 55 |
| Figura 26. Poder de hinchamiento (A) y solubilidad (B) de harina de banana ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish.....   | 55 |
| Figura 27. Fuerza (N) y distancia (mm) de punción de 8 películas biodegradables de harina de banana ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo .....  | 59 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 28. Permeabilidad al vapor de agua (PVA) de las películas biodegradables de harina de banano ( <i>Musa acuminata</i> AAA) de rechazo cultivar Cavendish..... | 62 |
| Figura 29. Gráficos de ANOVA para las propiedades físicas de harina de banano. A: Cromaticidad, B: Índice de blancura y C: Tono (°Hue) .....                        | 66 |
| Figura 30. Gráficas de ANOVA de las propiedades químicas de la harina de banano A: Almidón, B: Amilosa y C: Fibra bruta.....  | 67 |
| Figura 31. Propiedades funcionales de las películas biodegradables: A: Capacidad de retención de agua B: Poder de hinchamiento C: Solubilidad.....                  | 68 |
| Figura 32. Propiedades ópticas de las películas biodegradables: A: Diferencial de color; B: Índice de blancura C: Índice de amarillez.....                          | 68 |
| Figura 33. Gráficas de ANOVA de las propiedades mecánicas de las películas biodegradables: A: Dureza y B: Deformación .....   | 69 |
| Figura 34. Gráficas de ANOVA de las propiedades de barrera de las películas biodegradables: A: Permeabilidad al vapor de agua y B: Solubilidad.....                 | 69 |

## RESUMEN

El presente trabajo se basó en la caracterización fisicoquímica y funcional de la harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish elaborada con banano de dos Provincias con mayor producción en el Ecuador (Los Ríos y El Oro). Dentro del estudio se planteó la evaluación del efecto de la zona de producción, la incorporación de corteza y el uso de metabisulfito de sodio, obteniéndose 8 tratamientos con un rendimiento entre 21,16 - 29,85 %. Dentro de las propiedades fisicoquímicas de la harina de banano evaluadas, el índice de blancura se vio influenciado por el uso de metabisulfito, obteniéndose valores entre 56,91-76,49; siendo los valores más altos los de harinas con metabisulfito. Se evaluaron también los contenidos de almidón total, amilosa y fibra cruda en las harinas, obteniendo como resultado rangos entre 67,48 - 78,21 %, 12,82 - 17,98 % y 1,15 - 3,50 %, respectivamente. Estos contenidos influyeron principalmente en las propiedades funcionales de la harina de banano a 80°C.

Las propiedades ópticas de las películas biodegradables presentaron variación en parámetros como el índice de blancura (57,05 - 77,72), índice de amarillez (11,66 - 81,06) y diferencial de color (9,75 - 49,17); obteniéndose películas con un índice de blancura mayor en los tratamientos elaborados con metabisulfito de sodio y un diferencial de color e índice de amarillez mayor para los tratamientos sin metabisulfito debido al pardeamiento enzimático. Las propiedades mecánicas, como fuerza de punción y distancia de punción de las películas biodegradables presentaron un rango de valores entre 15,32 - 25,97 N y 10,42 - 13,60 mm respectivamente, observándose mayor resistencia en los tratamientos con alto contenido de fibra. Las muestras con mayor distancia de punción fueron las que presentaron un bajo contenido de fibra y alto contenido de almidón. Al igual que la fuerza a la punción, las propiedades de barrera como la permeabilidad al vapor de agua ( $3,16 \times 10^{-10} - 6,89 \times 10^{-10} \text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ ) y la solubilidad (50,53 a 60,02 %).

**Palabras claves:** Harina de banano, películas biodegradables, propiedades fisicoquímicas, propiedades funcionales.

## ABSTRACT

This work is about physicochemical and functional characterization of flour of banana (*Musa acuminata* AAA) for rejection and Cavendish cultivate, it made with banana from two provinces (Los Rios & El Oro) the highest producers of Ecuador. On this study was evaluated the effect of production zone, husk incorporation and use of sodium metabisulfite, getting 8 treatments with a yield between 21.16 % and 29.85 %. Inside the physicochemical properties of banana flour evaluated, the whiteness index was influenced by the use of metabisulfite, obtaining values between 56.91 to 76.49; the highest values were the flour with metabisulfite. Also was evaluated total content of starch, amylose and crude fiber in flours, resulting ranges from 67.48 to 78.21 %, 12.82 to 17.98 % and 1.15 to 3.50 % respectively. These contents influenced mainly in the functional properties of banana flour at 80°C.

The optical properties of the biodegradable films show variation in parameters such as the whiteness index (57.05 to 77.72), yellowness index (11.66 to 81.06) and color difference (9.75 to 49.17); obtaining films with a higher whiteness index in treatments using sodium metabisulfite and a differential color and yellowness index highest for treatments without metabisulfite due to enzymatic browning. The mechanical properties, such as puncture force and puncture distance of biodegradable films showed a range of values between 15.32 to 25.97 N and 10.42 to 13.60 mm respectively, greater resistance was observed in treatments with high fiber. Samples with higher puncture distance were those that had a low fiber content and high starch content. As puncture force, barrier properties as permeability to water vapor ( $3,16 \times 10^{-10} - 6,89 \times 10^{-10} \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ ) and solubility (50.53 to 60.02 %).

**Key Words:** Banana flour, biodegradable films, physicochemical properties, Functional properties.

## INTRODUCCIÓN

El plátano (*Musa AAA*) es nativo del sudeste asiático, y la más grande de las plantas herbáceas en el mundo, crece abundantemente en muchos países en vías de desarrollo. La familia de las *Musáceas* comprende dos especies: *Musa acuminata* (bananos comestibles cuando están crudos) y *Musa Paradisiaca* (plátanos que necesitan de un proceso de cocción antes de ser consumidos) (Colima, 2005). Ecuador es considerado un país líder en las exportaciones de banano en el mundo, con una producción total de banano de 7,012.244 Tm en el 2012. Las principales provincias productoras de banano son Los Ríos con el 39,27% de la producción total, El Oro 32,37% y Guayas 22,61%. Las variedades más importantes que se producen y exportan en Ecuador son *Cavendish Valery* y *Williams* (Afanador, 2005; ESPAC, 2013).

Sin embargo, su proceso de cosecha genera un alto volumen de banano rechazado, puesto que no cumple con los parámetros de calidad establecidos para su exportación. Entre los años 2009 y 2011 se realizó un estudio que permitió determinar que el 6,94 % de la fruta se pierde durante la post cosecha; el costo del kilo de banano de rechazo se encuentra alrededor de 0,10 USD (Solórzano y Ramirez, 2012).

El MAGAP en el 2010 reportó que el 23% de banano rechazado y de residuo se origina en la provincia de Los Ríos, seguido de las provincias del Guayas (13%), Cañar (15%) y El Oro (13%), a nivel nacional (Gonzabay, 2014).

Según varios autores (García *et al.* , 2011; Soto, 2010), el plátano verde contiene 79,60-81,03% de carbohidratos y 1,65% de fibra cruda; en banana verde se identificó un 87,83% de carbohidratos y 1,13% de fibra cruda; siendo el almidón el carbohidrato predominante. Mientras que la harina de banano tiene una composición aproximada de 68,13% almidón total, 3,32% de proteína, 2,45% de lípidos y 1,65% de fibra cruda. En base a sus propiedades químicas (alto contenido de almidón) se lo considera un material promisorio importante para la elaboración de plásticos biodegradables. (Lazaridou y Biliaderis, 2002; López *et al.* , 2014).

Los plásticos biodegradables son materiales de composición heterogénea elaborados a partir de polímeros capaces de formar una matriz estructural y ser degradados por la acción enzimática de los microorganismos, bajo determinadas condiciones ambientales, en sustancias sencillas (agua, dióxido de carbono) y biomasa. **(Karlsson y Albertsson, 1998)**.

Dentro de la amplia cantidad de macromoléculas que existe en el campo de los materiales biodegradables con capacidad formadora de películas, se encuentran los polisacáridos como el almidón, presentando importantes ventajas, respecto a otros polímeros debido a varios factores como: un costo bajo, debido a su alta disponibilidad tiene buenas propiedades funcionales para su uso en dichas películas **(Lafargue *et al.*, 2007; Zhang y Han, 2006)**.

Las películas biodegradables a base de biopolímeros no tienen muy buena flexibilidad comparada con los materiales sintéticos como los plásticos. Por esto, la adición de plastificantes a la matriz polimérica es indispensable para obtener una película con buenas propiedades mecánicas. El plastificante conjuntamente con el polímero debe formar una mezcla homogénea **(Lazaridou y Biliaderis, 2002; Mali *et al.*, 2002)**; por lo general se usa polioles como: glicerol, sorbitol, y polietilenglicol, debido a que son los grupos hidroxilos de dichos compuestos los que brindan el efecto plastificante a las películas biodegradables **(Sothornvit y Krochta, 2005)**.

El consumo de plásticos convencionales obtenidos de fuentes fósiles como los derivados de petróleo ha ocasionado graves problemas ambientales por la acumulación de este tipo de desechos que no son biodegradables, consecuencia de la falta de cultura de reciclaje y clasificación de basura a nivel doméstico e industrial.

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos es un país que cuenta con una población de 15.802.564 habitantes, los mismos que generan una gran cantidad de desechos sólidos biodegradables y no biodegradables que se han convertido en una problemática ambiental de importancia. En base a datos del Ministerio del Ambiente se establece que el país genera aproximadamente cuatro millones de toneladas de

residuos sólidos al año, de los cuales el 60% son residuos orgánicos y el 11% son plásticos; con un promedio de 257 millones de bolsas plásticas (**Andes, 2014**).

Considerando las políticas actuales y la necesidad de promover tecnologías amigables con el entorno que constituyan un beneficio ambiental y económico, se plantea crear una alternativa que permita disminuir el impacto causado por el consumo indiscriminado de plásticos, a través del desarrollo de películas biodegradables activas empleando recursos biológicos abundantes en el país (harina de plátano), disminuyendo el problema de acumulación de residuos, que más allá de constituir un problema ambiental representa un gasto económico que enfrentan día a día municipios, empresas privadas y ministerios del país.

## CAPITULO I

### EL PROBLEMA

#### 1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN

“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y FUNCIONALES DE LA HARINA DE BANANO (*Musa acuminata* AAA) DE RECHAZO EN EL DESARROLLO DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES”

#### 1.2. JUSTIFICACIÓN

El banano es uno de los productos de exportación más importantes en Ecuador, debe cumplir con niveles de calidad exigidos por el mercado exportador; por lo que existe un alto volumen de fruta descartada, entre el 20 y 25% del total. Los principales factores, para descartar la fruta son: superación del punto óptimo de cosecha, selección durante los procesos de post-cosecha y el desecho de la fruta en puerto (**Afanador, 2005**).

Según **M. Soto (1985)**, se considera no exportable a la fruta que no reúne las condiciones de calidad para el mercado internacional. Tradicionalmente se lo conoce como banano de rechazo, el cual se comercializa internamente en algunos países productores, para ser utilizados en la alimentación animal o en la elaboración de productos alimenticios. Sin embargo, el banano de rechazo se acumula en botaderos no autorizados, a cielo abierto, expuesto a la degradación natural, lo que ayuda a la generación de gases tóxicos y de efecto invernadero, causando un grave daño al medio ambiente. Además de dichas desventajas, es desaprovechada una vasta cantidad de materia prima en Ecuador.

Existen cientos de productos que pueden elaborarse a base de banano de rechazo, puesto que la fruta cuenta con características nutritivas y funcionales adecuadas para su consumo en el mercado.

El objetivo de esta investigación es el estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de harina de banano de rechazo, para su aplicación en películas biodegradables. Su desarrollo se propone como una alternativa para contribuir con el

medio ambiente y aprovechar materias primas subutilizadas, obteniendo un producto con valor agregado. Además, es una alternativa para los países productores de banano como Ecuador, para disminuir los niveles de contaminación que esta actividad conlleva, mejorando así la calidad de vida de la población.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo General**

- Estudiar las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo en el desarrollo de películas biodegradables.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Identificar dos zonas de mayor producción de banano en el litoral ecuatoriano
- Analizar las características fisicoquímicas del banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo
- Efectuar el aislamiento y caracterización física del almidón de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo.
- Evaluar el efecto de la zona de producción y la aplicación de metabisulfito de sodio en las características fisicoquímicas y funcionales de la harina de banano de rechazo con y sin corteza.
- Determinar las propiedades ópticas, mecánicas y de barrera de las películas biodegradables obtenidas a partir de la harina de banano de rechazo.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

**Meneses *et al.* (2010)**, estudiaron la extracción de almidón como una utilidad potencial de los residuos de poscosecha de segundas y terceras de plátano Dominico-Harton (*Musa AAB Simmonds*), que se desechan en basureros o se venden a precios bajos, generando problemas sanitarios y elevando los costos de comercialización del plátano de primera calidad, concluyendo, que mediante un método húmedo se obtiene una buena extracción de almidón de 56,76%.

**Wang *et al.* (2012)**, caracterizaron la harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (*Musa acuminata* AAA), concluyendo que tanto el almidón como la harina de banano obtenidos, presentan altos contenidos de fibra, grasa y proteína, por tanto tienen un buen potencial para la elaboración o mejoramiento de productos agroindustriales de uso masivo.

El banano en su estado verde contiene grandes cantidades de almidón, celulosa, hemicelulosa y lignina, por lo tanto una de las estrategias económicas para aprovechar el banano, incluye la producción de harina, la cual puede ser incorporada dentro de productos innovadores como incrementar el valor nutricional en snacks (**Wang *et al.* , 2012**), o en la elaboración de pan con alta fibra alimenticia (**Ho *et al.* , 2013.** ), además la harina de banano es importante por su capacidad de producir una película comestible (**Jirukkakul., 2016**).

**Pelissari *et al.* (2013)**, realizaron un estudio comparativo de las propiedades de la harina y almidón de plátano (*Musa paradisiaca*) en películas, concluyendo que las películas con harina de banano fueron menos resistentes mecánicamente, pero más flexible que las películas con almidón de banano. A pesar de la diferencia en la microestructura de las películas, la harina de banano fue ligeramente soluble en agua y su permeabilidad al vapor de agua fue similar a las películas de almidón. La película de harina presentó una microestructura discontinua que es más dura y porosa. La presencia de otros componentes (proteína, lípidos y fibra) en la película de harina tiene

efectos importantes sobre sus propiedades mecánicas. En general, la harina de plátano y el almidón son materiales muy prometedores para la formulación de capas y películas.

**(Jirukkakul., 2016)**, elaboró películas a base de harina y puré de banano, utilizando como variables dos porcentajes de harina (3% y 5 %), dos de plastificante, glicerol (1 % y 2 %,) y 2 % de metabisulfito de potasio y ácido ascórbico para prevenir pardeamiento enzimático. Se obtuvieron como resultados películas de harina de banano con mayor fuerza de tensión, elongación, permeabilidad al vapor de agua y un alto valor L, que la película hecha de puré de banano. Tanto el metabisulfito como el ácido ascórbico no afectan las propiedades mecánicas de las películas, pero si afectaron en el color dando valores altos de L y bajos de b, ya que inhibe la acción de la polifenol oxidasa.

**Zamudio-Flores *et al.*, (2007)**, indicaron que la modificación química del almidón de plátano con hipoclorito de sodio aumenta las propiedades mecánicas de las películas. Sin embargo, al ser incluido un sustituyente hidrofílico, la permeabilidad al vapor de agua se incrementa aunque esta característica se controla por la adición de aceite de girasol. Este tipo de almidón se describió como adecuado para elaborar películas de matrices homogéneas, con estructuras estables a condiciones ambientales (25 °C, 57% HR), las cuales pueden ser prometedoras en la conservación postcosecha de frutas y vegetales.

Según **García *et al.* (2011)**, los almidones por lo general son los más usados en la elaboración de películas biodegradables, siendo el almidón nativo de plátano un material prometedor para la elaboración de los mismos, pero tiene inconvenientes en sus propiedades Físicas y mecánicas, por lo cual realizaron una oxidación del almidón con hipoclorito de sodio para obtener un almidón blanqueado, el cual puede ser usado en la elaboración películas con mejores propiedades en color y resistencia.

## **2.2. HIPÓTESIS**

### **2.2.1. Hipótesis nula ( $H_0$ )**

La zona de producción, el uso de metabisulfito y la corteza de la fruta, no afectan significativamente a las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la harina de banano de rechazo en el desarrollo de películas biodegradables.

### **2.2.2. Hipótesis alternativa ( $H_a$ )**

La zona de producción, el uso de metabisulfito y la corteza de la fruta, afectan significativamente a las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la harina de banano de rechazo en el desarrollo de películas biodegradables.

## **2.3. SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES**

### **Variables independientes**

- Zona de producción
- Antioxidante (metabisulfito de sodio)
- Harina de pulpa de banano y harina de pulpa y corteza de banano

### **Variable dependiente**

- Propiedades fisicoquímicas y funcionales de la harina de banano.
- Propiedades ópticas, mecánicas y de barrera de las películas biodegradables.

## CAPITULO III

### MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. MATERIALES

##### 3.3.1. Muestra

El material vegetal empleado en este proyecto de investigación fue banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish en estado de madurez fisiológico, proveniente de dos zonas de mayor producción del Litoral Ecuatoriano, de los cantones: Valencia (Los Ríos) y Pasaje, Santa Rosa (El Oro). El cálculo del tamaño de muestra se realizó aplicando muestreo estratificado (Ecuación 1) siguiendo la metodología de **Saltos (2010)**.

$$n = \frac{(\sum W_h S_h)^2}{\frac{d^2}{Z_{1-\alpha/2}^2} + \frac{(\sum W_h S_h^2)}{N}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde

N: Tamaño del estrato

n: Tamaño de la muestra

$W_h$ : Ponderación del estrato h

$S_h$ : Desviación estándar de la variable control del estrato h

Z: Valor tipificado de la distribución normal estándar

$\bar{y}$ : Media variable control

E: Error relativo permitido de la variable control

d: (E) ( $\bar{y}$ )

$\alpha$ : Nivel de significación

A partir del levantamiento de información realizado en las zonas productoras se tomó como referencia el volumen de fruta infrautilizada durante los últimos seis meses y se estimó el valor promedio. La provincia de Los Ríos generó 62,80 Ton, mientras que la provincia de El Oro 16,80 Ton de banano de rechazo, estos valores permitieron calcular el tamaño de muestra para el estudio (Ecuación 1), tomando 474,94 Kg por zona de producción.

## 3.2. MÉTODOS

### 3.2.1. Caracterización fisicoquímica de la materia prima

La caracterización fisicoquímica de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish se realizó siguiendo la metodología planteada por **Dadzie y Orchard (1997)**. Para esto se evaluó las características físicas como: peso, longitud, diámetro (mayor medio y menor). Dentro de las propiedades químicas se evaluaron los sólidos solubles (°Brix), pH y acidez titulable.

#### Caracterización física

**Peso:** Con una balanza Mettler Toledo (Figura 1) se registró el peso individual (dedo) de la fruta.

**Diámetro:** El diámetro superior medio e inferior de cada dedo se determinó con ayuda de un calibrador de Vernier marca BP GOLD como se muestra en la Figura 1.

**Longitud:** Utilizando una cinta métrica se midió la curvatura exterior de los dedos desde el extremo distal hasta el extremo proximal, como se observa en la Figura 1.



**Muestra**



**Pesado**



**Diámetro**



**Longitud**

**Figura 1.** Caracterización física de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish.

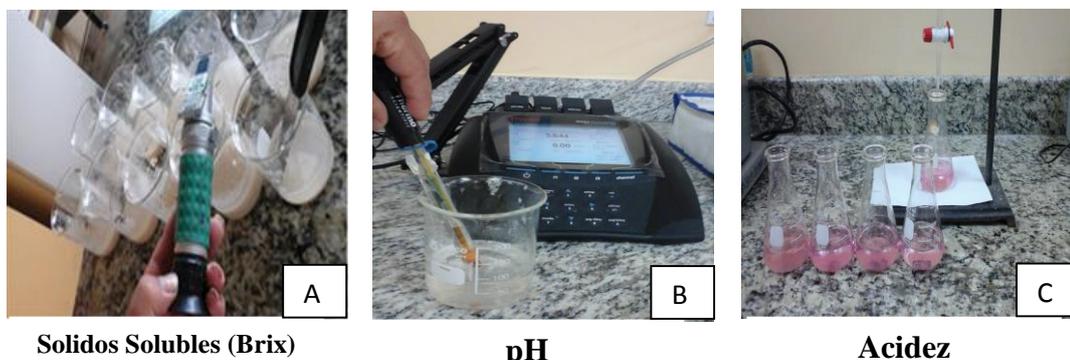
## Caracterización química

**Sólidos solubles (°Brix):** Para la determinación de los sólidos solubles (Figura 2-A) se tomó 30 g de la sección transversal de la fruta. La muestra fue licuada con 90 mL de agua destilada durante 2 minutos y posteriormente se filtró con ayuda de papel filtro Whatman #1. De la solución resultante se colocó una alícuota en el prisma del refractómetro (HAND®) y se determinó el contenido de azúcares en °Brix.

**Potencial hidrógeno (pH):** La determinación de pH se realizó tomando 50 mL de solución de banano (1:3; p/v) y por inmersión directa del bulbo de pH-metro (Thermo scientific) se cuantificó el valor de pH, como se muestra en la Figura 2-B.

**Acidez:** Para el análisis se tomó 50 mL de solución de banano y se añadió 3 gotas de fenolftaleína. La titulación se llevó a cabo con una solución de NaOH (0,1 N) hasta el cambio de color (Figura 2-C). El resultado se expresa como porcentaje de ácido málico (ácido predominante en la fruta), y el cálculo se realizó mediante la Ecuación 2.

$$\% \text{ Acidez} = \frac{\text{mL NaOH} * N(\text{NaOH}) * \text{mq ácido} * \text{FD} * 100}{\text{mL de muestra titulada}} \quad (\text{Ecuación 2})$$



**Figura 2.** Caracterización química de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish

### 3.2.2. Aislamiento de almidón de banano

Para el aislamiento de almidón (Figura 3) se trabajó con muestras de banano en estado de madurez fisiológico, empleando la metodología de **Flores *et al.* (2004)**, con algunas modificaciones. El ensayo se realizó con 1 kg de fruta; la muestra se decortizó y fraccionó en cubos de aproximadamente 3 cm. La fruta cortada fue colocada en una

solución de metabisulfito de sodio 0,5 % (1:1,5; p/v) para evitar la oxidación enzimática (oscurecimiento) de la pulpa. La eliminación del mucílago del banano se realizó por inmersión de la muestra en una solución de hidróxido de calcio 0.5 % (1:2; p/v) durante 30 minutos, seguido de esto se lavó con agua destilada (3 veces). La molienda húmeda de la muestra se realizó con ayuda de una licuadora Oster® a velocidad media, durante 1 minuto. La mezcla resultante fue filtrada y lavada hasta que el agua del lavado sea transparente. El líquido resultante se dejó reposar a 4 °C durante 48 horas para que el almidón precipite por gravedad. El sobrenadante se eliminó por sifoneo y el almidón húmedo se llevó a 50 °C durante 4 horas. El almidón seco se molió y tamizó (mesh 200) para finalmente almacenarlo en fundas herméticas a temperatura ambiente hasta su utilización.

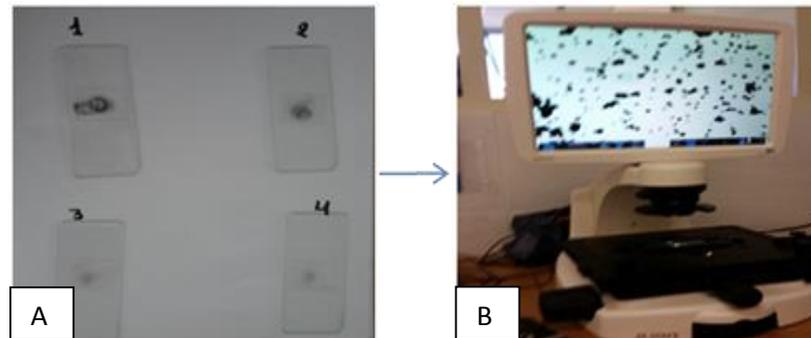


**Figura 3.** Proceso de obtención del almidón de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish

### 3.2.3. Forma y tamaño de los gránulos de almidón

La apariencia microscópica de los gránulos de almidón se evaluó por el método Mc Master (1964) reportado por **Ríos (2014)**, para esto se preparó una solución de almidón al 1 % (p/v). Con ayuda de una micropipeta Corning (20-200 µl) se tomó una alícuota de 40 µl de solución en un portaobjetos para su tinción con lugol. A la placa previamente homogenizada se le colocó el cubreobjetos y se llevó al microscopio óptico EVOS X-L. Los gránulos de almidón fueron observados con un aumento de 40x en quintuplicado, como se muestra en la Figura 4.

El tamaño de los gránulos se determinó empleando el software Image.J a través de las fotografías registradas de la observación microscópica de las muestras.



**Figura 4.** Observación microscópica de los gránulos de almidón de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish. A. Muestra de almidón en portaobjeto; B. Microscopio óptico EVOS X-L.

### 3.2.4. Obtención de harina de banano



**Figura 5.** Proceso de elaboración de harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish

Para la obtención de harina (Figura 5) se empleó pulpa de banano, pulpa y corteza de banano con y sin adición de antioxidante, siguiendo la metodología planteada por **Madrigal et al. (2008)** con algunas modificaciones. Cada tratamiento se elaboró a partir de aproximadamente 7 Kg de fruta previamente desinfectada (solución de hipoclorito de sodio 100ppm).

Se trabajó con banano de rechazo sin y con corteza, los cuales fueron cortados en rodajas de 2 mm de espesor, y aquellos tratamientos con metabisulfito de sodio (0,5 %), fueron llevados a dicha solución durante 10 minutos para evitar el pardeamiento enzimático de la fruta, mientras que los tratamientos que no requerían de tratamiento con metabisulfito fueron inmediatamente distribuidos de manera uniforme en bandejas metálicas y sometidas a un proceso de deshidratación en un secador de bandejas (Gander MTN) a 60 °C, hasta alcanzar una humedad mínima de 12 %. Las hojuelas de banano secas fueron molidas con ayuda de un molino manual de cereales marca Corona, y la reducción y homogenización del tamaño de partícula se efectuó con una licuadora Oster®, hasta obtener partículas finas. Las harinas resultantes fueron envasadas en fundas herméticas a temperatura ambiente hasta su utilización.

### 3.2.5. Caracterización física de la harina de banano

#### Granulometría

La determinación del tamaño de partícula (Figura 6) de las harinas de banano obtenidas se trabajó en base a la metodología planteada en la norma **INEN NTE 517(1980)**. Para esto se pesaron 100 g de cada muestra en una balanza precisa XB 220A y se colocaron en un tamizador Porter Sand Shaker con agitación mecánica.



**Tamizado**



**Tamaño de partículas**

**Figura 6.** Tamizado de la harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish

El tamizador está compuesto por una serie de tamices con malla de diferentes tamaños (40, 60, 100, 140, 200) a través de los que se hizo pasar la muestra. En función del peso de la muestra retenida en cada tamiz se calculó el tamaño de partícula.

## Densidad aparente

La densidad aparente de la harina se evaluó siguiendo el método descrito por **Chau et al. (2003)**. Para esto se trabajó con una probeta de 10 mL previamente pesada y se añadió harina hasta 5 mL del tubo de ensayo. La probeta con la muestra se pesó en una balanza (Mettler Toledo PL202-S) y por diferencia se obtuvo el peso de la muestra. El cálculo de la densidad aparente (g/mL) se realizó mediante la Ecuación 3:

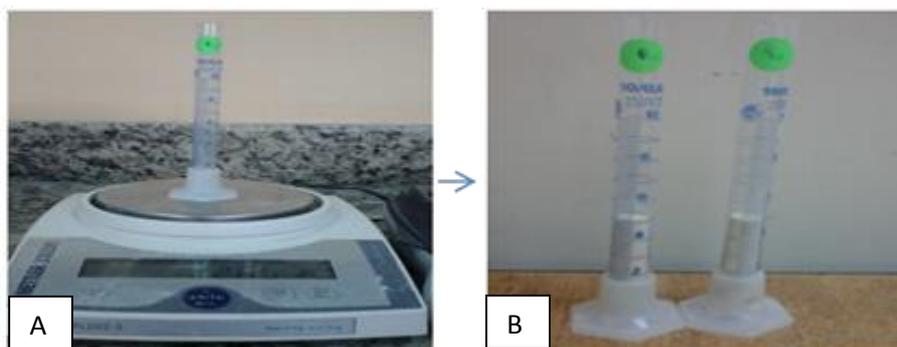
$$D_a = \frac{\text{masa}}{\text{volúmen}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde

$D_a$ : Densidad aparente

$W_t$ : Peso total después de la harina

$W_p$ : Peso de la probeta vacía.



**Figura 7.** Proceso de evaluación de densidad aparente de la harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish: A. Pesado; B. Muestra compacta de harina

## Color de la harina

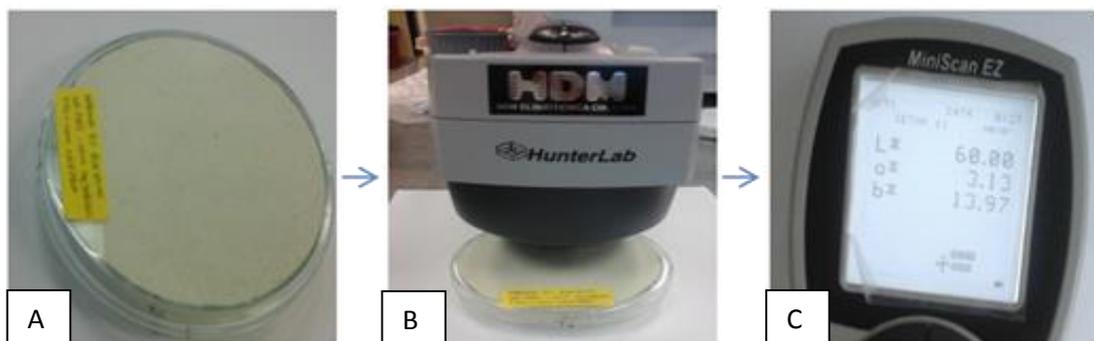
La medición del color (Figura 8) se realizó con un colorímetro universal Hunter Lab® modelo MiniScan EZ. Para esto se colocó aproximadamente 50 g harina de banano en cajas petri de vidrio y por lectura directa se midió los componentes de color  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (rojo+, verde-) y  $b^*$  (amarillo+, azul-) en quintuplicado. En función de las coordenadas cromáticas se determinó la cromaticidad ( $C^*$ ) y el tono ( $H^\circ$ ) y el índice de blancura mediante las ecuaciones 4, 5, 6 y 7 (**García et al. , 2011; Jimenez, 2012**).

$$C^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$H^0 = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad a^* > 0 \text{ y } b^* \geq 0 \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$H^0 = 180 + \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad a^* < 0 \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$IB = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^2 + b^2} \quad (\text{Ecuación 7})$$



**Figura 8.** Proceso de determinación de color de la harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish. A. Muestra de harina de banano; B. Determinación de color; C. Lectura de color

### 3.2.6. Características químicas de la harina de banano

Las características químicas que se evaluaron en la harina de banano fueron la determinación de almidón, amilosa y fibra cruda.

#### Almidón total

El análisis del contenido de almidón total se realizó utilizando un método polarimétrico, empleando un polarímetro Polax-2L (Figura 9). Para llevar a cabo la determinación se pesó 2,5 g de muestra de harina en un balón de 50 mL, se adicionó 25 mL de HCl 0,31 N y se agitó por 15 minutos, las muestras se sometieron a ebullición en un baño de agua por 15 minutos. Seguidamente las muestras se enfriaron y añadieron 1 mL de solución carrez 1 y carrez 2, posteriormente se centrifugaron y se realizaron las lecturas trasladando la muestra a un tubo de 200 mL en el polarímetro. Los resultados se expresaron como porcentaje de almidón, según la Ecuación 8.

$$\% \text{ Almidón} = (a - b)F\% \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde  $a$  es el ángulo de rotación de la muestra (en grados),  $b$  es el ángulo de rotación del blanco (en grados) y  $F$  es el factor del almidón (5,501 para la papa)



**Agitación**



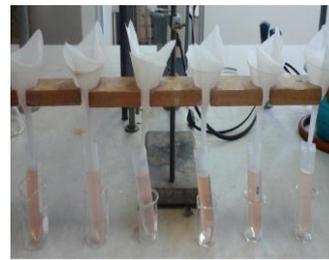
**Calentamiento**



**Enfriado**



**Centrifugación**



**Filtrado**



**Lectura Polarímetro**

**Figura 9.** Proceso para la determinación de almidón total en el banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish.

### **Contenido de amilosa**

El análisis de amilosa se realizó por espectrofotometría UV-visible, para lo cual se pesó 0,1 g de muestra de harina en un balón de 100 mL y se añadieron 1 mL de etanol al 95 % y 10 mL de Na(OH) 1 N, se dejó en reposo una noche para gelatinización. Posteriormente se tomó una alícuota de 2,5 mL en un balón de 50 mL, se adicionó 0,5 mL de Ácido clorhídrico y 1 mL de solución de yodo al 2%, se dejó en reposo en oscuridad y se procedió a la lectura de la absorbancia en un espectrofotómetro Shimadzu UV-2600 (Figura 10). La cuantificación se realizó por comparación con una curva de calibración realizada con estándares de amilosa de concentración de 0 a 20 %.



**Gelatinización**



**Reposo**



**Absorbancia**

**Figura 10.** Proceso para la determinación de fibra cruda en harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish.

### **Contenido de fibra cruda**

El análisis de fibra cruda se realizó utilizando el método tradicional por digestión (ácida/ básica) y la cuantificación por gravimetría, para lo cual se pesó 1 g de muestra y se adicionó 100 mL de ácido sulfúrico (1/1000) y se digirió por una hora, posteriormente se adicionó 100 mL de hidróxido de sodio al 22 % y se digirió nuevamente por una hora, se filtró la muestra y se sometió a secado en estufa a 105 °C y calcinación en mufla a 550 °C. Este proceso se observa en la Figura 11.



**Digestión**



**Calcinación**



**Desecado**

**Figura 11.** Proceso de cuantificación de fibra cruda en harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish.

### **3.2.7. Características funcionales de la harina de banano**

#### **Capacidad de retención de agua**

La capacidad de retención de agua (Figura 12) se realizó según el método descrito por **Bryant y Hamaker (1997)**, para lo cual se preparó una dispersión de harina al 10 % (p/v) en vasos de precipitación de 50 mL. En tubos de centrífuga se tomó una alícuota de 20 mL y se llevaron a baño maría (Wise Bath WSB-18) a diferentes temperaturas

(50, 60, 70 y 80 °C) durante 15 min con agitación cada 5 mín en un Vortex Mixer Labnet. Posteriormente, los tubos fueron centrifugados a 2300 rpm por 15 min en una centrífuga Hettich® Modelo D-78532. El sobrenadante fue decantado y los tubos dejados en reposo durante 10 min, para luego registrar el peso del sedimento. La CRA se calculó mediante la siguiente expresión:

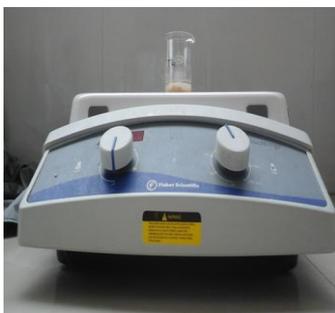
$$CRA = \frac{\text{peso del gel(g)} - \text{peso de la muestra (g)}}{\text{peso de la muestra (g)}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

### Solubilidad (SOL) y factor de hinchamiento (FH)

Para la determinación de la solubilidad y factor de hinchamiento (Figura 12) se empleó la metodología planteada por **Crosbie (1991)**. A partir de una dispersión de harina 10% (p/v) se tomó una alícuota de 20 mL en tubos de centrífuga y se llevaron a un baño maría (Wise Bath WSB-18) a diferentes temperaturas (50, 60, 70 y 80 ° C) durante 30 minutos, con agitación cada 5 min en un Vórtex (Mixer labnet). Posteriormente la suspensión fue centrifugada a 3200 rpm por 15 min; el sobrenadante fue decantado en una probeta graduada y se registró su volumen. Los cálculos de la SOL y el FH se realizaron mediante las Ecuaciones 10 y 11:

$$SOL = \frac{\text{peso de sólidos solubles(g)}}{\text{peso de la muestra (g)}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$FH = \frac{\text{peso del gel (g)}}{\text{peso de la muestra (g)} - \text{peso de sólidos solubles(g)}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 11})$$



**Agitación**



**Incubación**

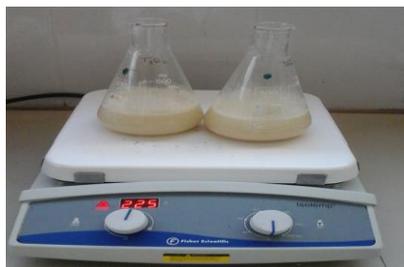


**Centrifugación**

**Figura 12.** Proceso para la determinación de las propiedades funcionales de la harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo

### 3.2.8. Elaboración de películas biodegradables

El desarrollo de películas biodegradables se realizó según la metodología descrita por **Arancibia (2014)** mediante la técnica de moldeo o casting. Para esto se preparó una dispersión de harina de banano al 5 % (p/v), con agitación constante. La dispersión fue calentada hasta alcanzar 90 °C en una plancha de agitación Fisher Scientific Isotemp, manteniendo agitación constante. Posteriormente se disminuyó la temperatura hasta 70 °C y se incorporó el plastificante (glicerol; 50 % p/p respecto a la harina) y se continuó agitando hasta que el glicerol se mezcló completamente. De la dispersión filmogénica resultante se pesaron 20 g en una placa Petri (56,75 cm<sup>2</sup>) y se secaron en un secador de bandejas (Gander MTN) a 60 °C durante 6 horas. El proceso gráfico se muestra en la Figura 13.



**Calentamiento**



**Filtrado**



**Secado**



**Películas Biodegradables**

**Figura 13.** Proceso para la elaboración de películas biodegradables de harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish.

### 3.2.9. Propiedades ópticas de las películas biodegradables

#### Color

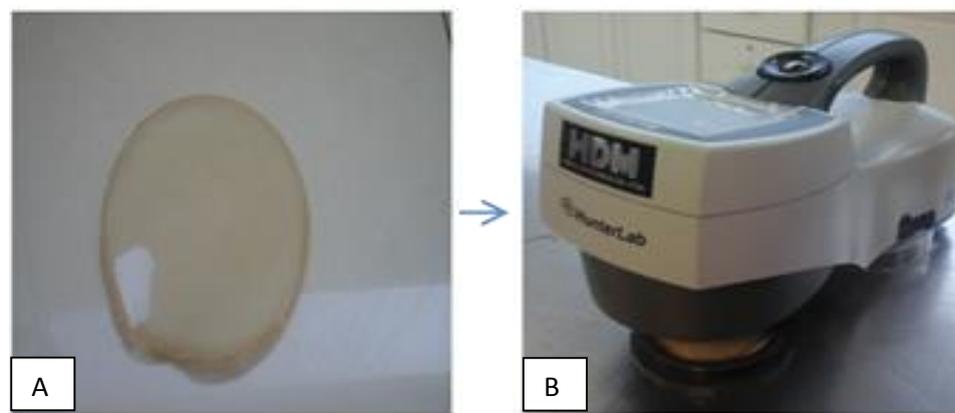
Las características cromáticas ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) de las películas biodegradables se midieron con un colorímetro Hunter Lab modelo MiniScan EZ; empleando una base blanca ( $L^*=90,7175$   $a^*=-0,973$   $b^*=0,7465$ ) como fondo. Las determinaciones se realizaron por quintuplicado en los cuatro cuadrantes de las películas, y en función de

estos resultados se calculó el diferencial de color  $\Delta E$ ; (Ecuación 12), el índice de amarillez  $IY$ ; (Ecuación 13) y el índice de blancura  $IB$ ; (Ecuación 14).

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L^*_{referencia})^2 + (a^* - a^*_{referencia})^2 + (b^* - b^*_{referencia})^2} \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$IY = 142,86 \frac{b^*}{L^*} \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$IB = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^2 + b^2} \quad (\text{Ecuación 14})$$



**Figura 14.** Proceso para la Determinación de color en películas biodegradables a base de harina de harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish: A. Película de harina de banano; B. Medición de color.

### 3.2.10. Propiedades de barrera de las películas biodegradables

#### Permeabilidad al vapor de agua



**Figura 15.** Pasos en la determinación de la permeabilidad al vapor de agua en películas biodegradables a base de harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish.

La permeabilidad al vapor de agua (PVA; Figura 15) de las películas biodegradables se determinó siguiendo el método descrito por **Sobral *et al.* (2001)**. En cajas de polietileno de alta densidad se añadieron aproximadamente 30 g de sílice y se

cubrieron herméticamente con cada una de las películas desarrolladas. Se registró el peso inicial de las cajas y posteriormente se llevaron a un microambiente con una humedad relativa de 100 % (desecador con agua destilada). Las muestras se pesaron cada 30 minutos durante 5 horas. Los resultados se expresaron en  $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$

La permeabilidad al vapor de agua se calculó mediante la Ecuación. 15.

$$\frac{W*x*t}{A*\Delta P^{-1}} \quad (\text{Ecuación 15})$$

Donde

W: Peso ganado (g)

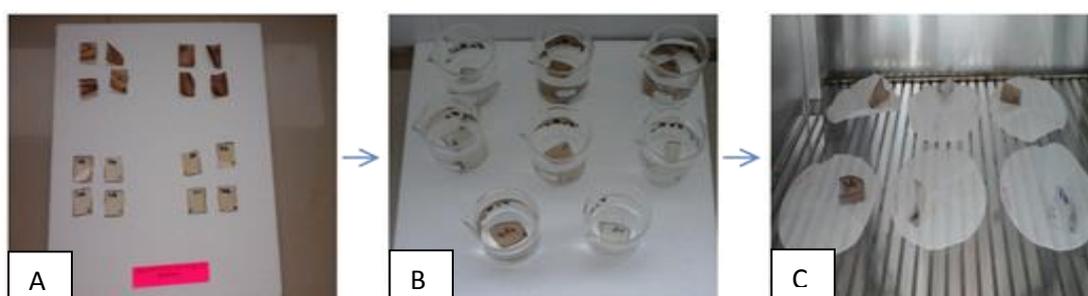
x: Espesor de la película (m)

t: Tiempo (h)

A: Área de película expuesta ( $\text{m}^2$ )

$\Delta P$ : Diferencia de presión parcial de vapor entre la atmósfera y el gel de sílice (2642 Pa a 22 °C)

### Solubilidad al agua



**Figura 16.** Pasos en la determinación de solubilidad de las películas biodegradables a base de harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish: A. Películas de 4  $\text{cm}^2$ ; B. Películas en inmersión de agua; C. Secado

La solubilidad al agua de las películas (SP) se determinó según el método descrito por **Arancibia (2014)**. Las películas fueron cortadas en cuadrados de 4  $\text{cm}^2$  y colocadas en recipientes con 50 mL de agua destilada y se dejó reposar a 18 °C durante 24 horas. La muestra que no fue disuelta por el agua se filtró a través de papel Whatman N°1 previamente pesado, para recuperar los residuos de las películas sin disolver. El residuo fue llevado a una estufa a 105 °C durante 24 horas con la finalidad de eliminar

el agua y se registró el peso. La solubilidad al agua de las películas SP se determinó por duplicado, y los cálculos se realizaron mediante la Ecuación 16.

$$\left(\frac{W_0 - W_f}{W_0}\right) * 100 \quad \text{(Ecuación 16)}$$

Donde

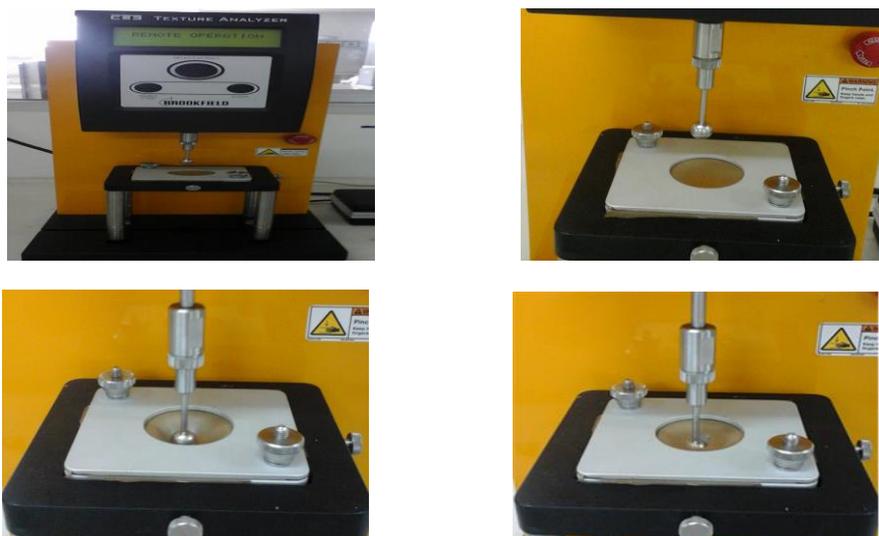
$W_0$ : Peso inicial de la película expresada como materia seca

$W_f$ : Peso del residuo seco sin disolver la película

### 3.2.11. Propiedades mecánicas de las películas biodegradables

#### Punción

La dureza y extensibilidad de las películas se determinaron mediante pruebas de punción (Figura 17) siguiendo la metodología propuesta por **Sobral *et al.* (2001)**, empleando un texturometro Brookfield ® modelo CT3 10000. Para esto se utilizaron películas rectangulares de 100\*87 mm y se acoplaron a la base compuesta por dos placas fijas con una abertura circular de 40 mm de diámetro. La prueba se ejecutó hasta el punto de rotura empleándose una sonda de acero inoxidable TA18 de 12,7 mm de diámetro; el ensayo se realizó aplicando una carga de activación de 0,05 N y una velocidad de 10 mm/min. Los resultados del ensayo se registraron con ayuda del software TexturePro CTV 1.2 Build 9.



**Figura 17.** Prueba de punción de las películas biodegradables a base de harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish

### 3.3. PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

En base a los resultados obtenidos de cada uno de los parámetros fisicoquímicos, mecánicos y funcionales se creó una base de datos mediante el software Microsoft Excel 2013 y el análisis estadístico de los resultados se realizaron mediante el software Statgraphics Centurion XV.

### 3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

El análisis estadístico de los resultados se realizó a través de un diseño experimental jerárquico o anidado (Tabla 1), a partir del cual se estableció el efecto de la zona de producción sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales de harina de banano para la elaboración de películas biodegradables. El factor principal fue la zona de producción y como factores anidados el uso de pulpa y corteza (anidado en A) como materia prima y la incorporación de metabisulfito de sodio (anidado en B) como agente antioxidante. En la Tabla 1 y 2 se observan los factores, niveles y combinaciones del diseño experimental (**Montgomery, 2004; Saltos, 2010**).

**Tabla 1.** Diseño experimental

| FACTORES               | NIVELES                              |   |
|------------------------|--------------------------------------|---|
| A = Zona de producción | a <sub>0</sub> : Los Ríos (Valencia) | a <sub>1</sub> : El Oro (Pasaje y Santa Rosa) |
| B = Fruta              | b <sub>0</sub> : Sin corteza         | b <sub>1</sub> : Con corteza                  |
| C = Antioxidante       | c <sub>0</sub> : Metabisulfito 0%    | c <sub>1</sub> : Metabisulfito 0,5%*          |

\*El porcentaje de Metabisulfito usado en esta investigación se basó en los estudios de **Gascón et al. (2013)**

**Tabla 2.** Combinaciones de los tratamientos

| CÓDIGO     | TRATAMIENTO                                   |
|------------|---|
| <b>RSS</b> | Los Ríos, sin corteza, sin metabisulfito 0%   |
| <b>RSC</b> | Los Ríos, sin corteza, con metabisulfito 0,5% |
| <b>RCS</b> | Los Ríos, con corteza, sin metabisulfito 0%   |
| <b>RCC</b> | Los Ríos, con corteza, con metabisulfito 0,5% |
| <b>OSS</b> | El Oro, sin corteza, sin metabisulfito 0%     |
| <b>OSC</b> | El Oro, sin corteza, con metabisulfito 0,5%   |
| <b>OCS</b> | El Oro, con corteza, sin metabisulfito 0%     |
| <b>OCC</b> | El Oro, con corteza, con metabisulfito 0,5%   |

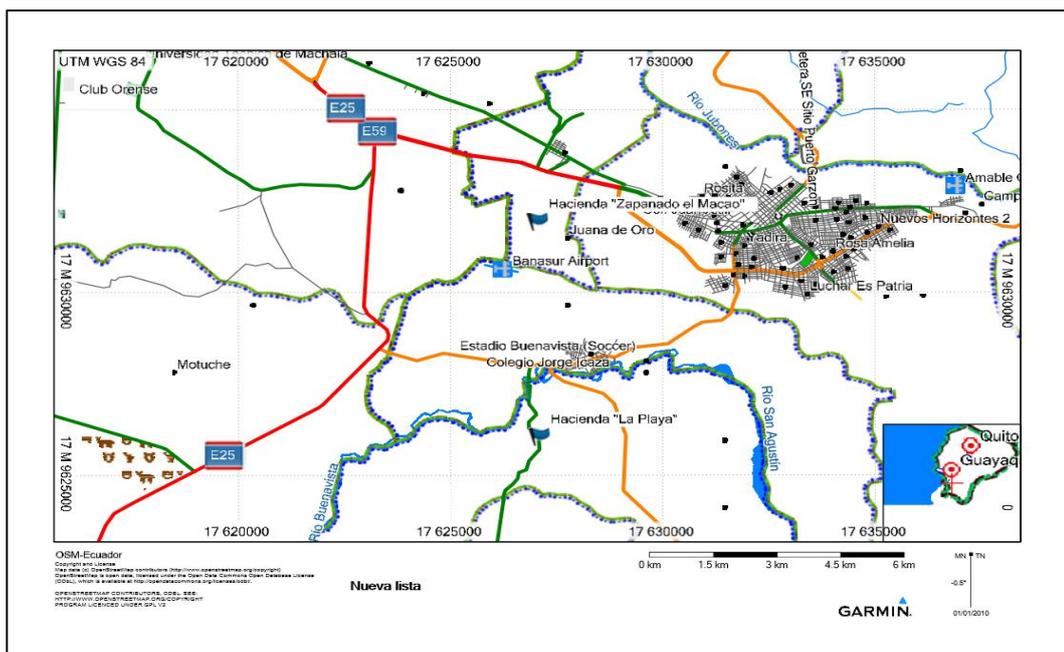
## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

##### 4.1.1. Muestra

Para la elaboración de harina de banano de rechazo se seleccionaron las provincias con mayor volumen de producción a nivel nacional, considerándose las provincias de Los Ríos y El Oro ubicadas en el litoral Ecuatoriano. En base al listado de productores-exportadores de banano (Anexo 1) se identificaron 5 haciendas productoras de banano de exportación donde se obtuvo el material vegetal para el estudio; la ubicación geográfica se presenta en la Figura 18 y 19.

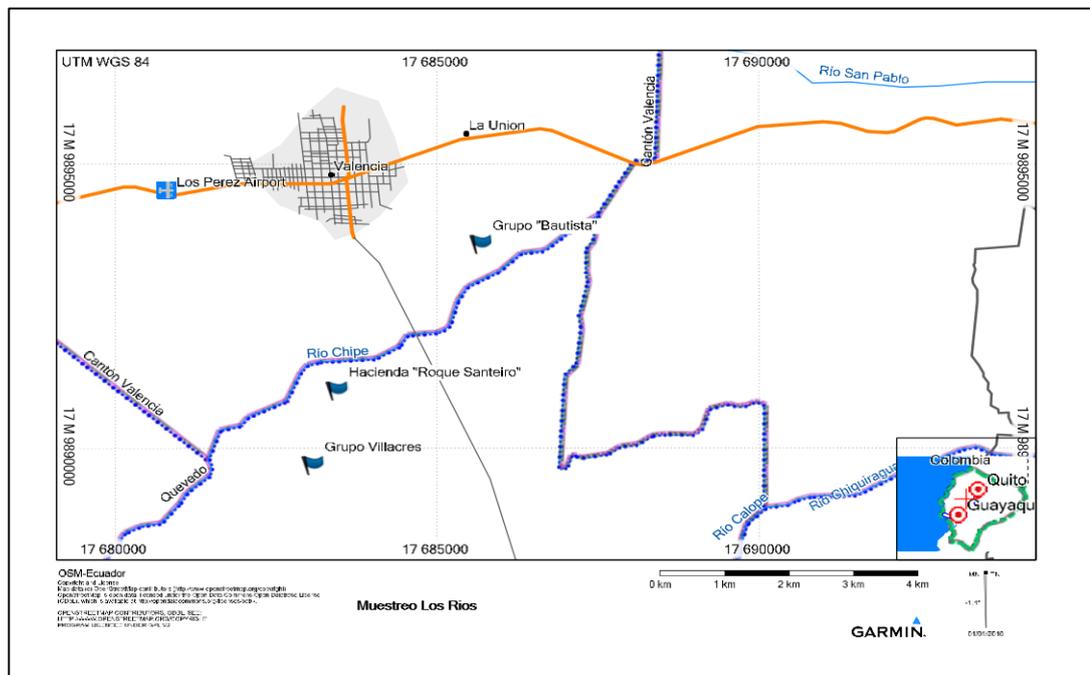


 Haciendas de banano visitadas

**Figura 18.** Ubicación geográfica (UTM) de haciendas productoras de banano de exportación en la provincia de El Oro.

Con la finalidad de evaluar el efecto de la zona de producción en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la harina elaborada se identificaron las condiciones de cultivo de las haciendas productoras; determinándose que existen diferencias entre las dos provincias seleccionadas. Las haciendas de El Oro se encuentran ubicadas entre 21 y 26 msnm y están influenciadas por la corriente marina del Pacífico, mientras que

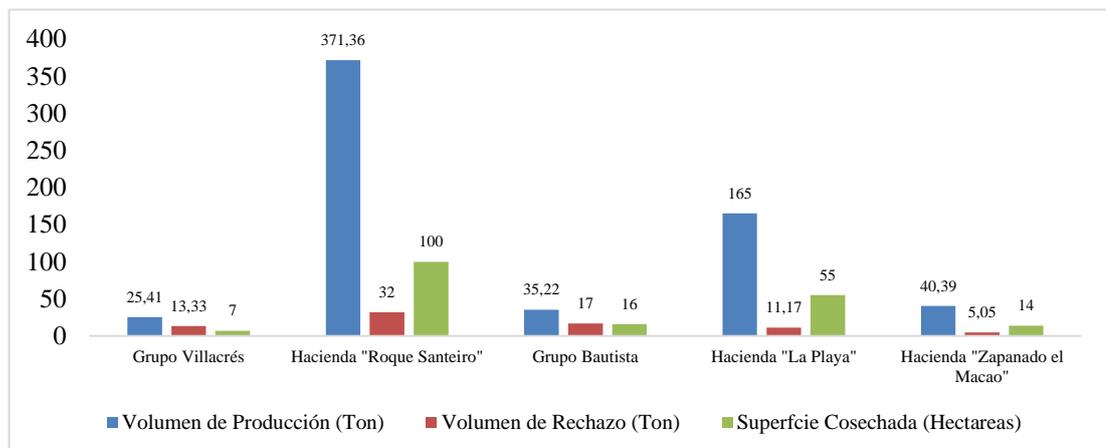
las fincas ubicadas en la provincia de Los Ríos se encuentran ubicadas a una altitud promedio de 118 msnm y están influenciadas por los ríos como Babahoyo, san Pablo, Caracol, Pueblo Viejo, Vines, Zapotal y Yaguachi entre otros.



 Haciendas de banano visitadas

**Figura 19.** Ubicación geográfica (UTM) de haciendas productoras de banano de exportación en la provincia de Los Ríos.

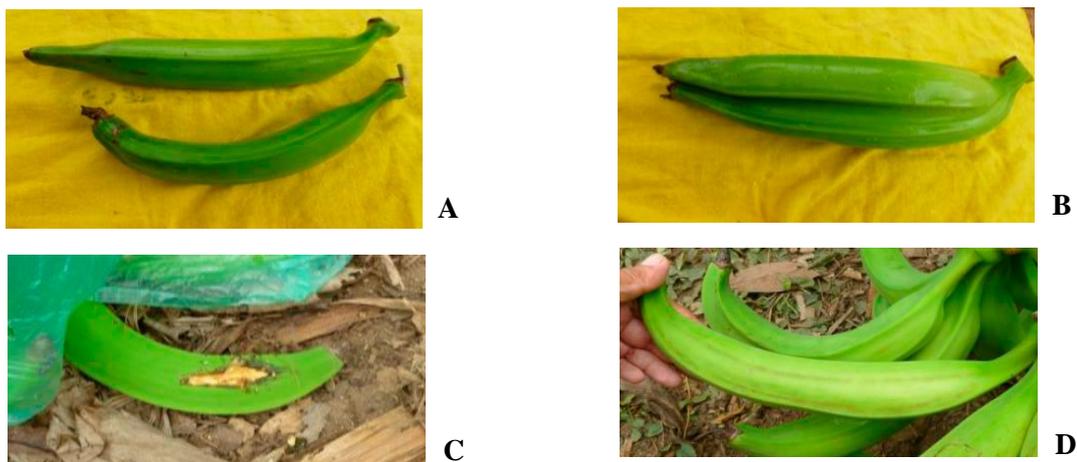
Durante el levantamiento de información (Anexo 2) se estableció el volumen promedio de producción (Ton), durante seis meses (julio-diciembre) el volumen de fruta descartada (Ton) y la superficie cosechada (Hect) como se muestra en la Figura 20.



**Figura 20.** Volumen de producción, volumen de rechazo y superficie cosechada de banano en cinco haciendas exportadoras de banano (*Musa acuminata* AAA).

De acuerdo a los resultados presentados en la Figura 20 se determinó que existe una relación directamente proporcional entre el volumen de producción, el volumen de fruta descartada y la superficie cosechada; por lo tanto las haciendas con mayor superficie de cosecha generan más fruta descartada. Las haciendas Roque Santeiro (Los Ríos) y La Playa (El Oro) exportan 371,36 y 165 Ton, respectivamente. Sin embargo, el grado de tecnificación de las haciendas puede influir en la calidad de la fruta; tal es así que en las haciendas de los Grupos Villacrés y Bautista alcanzaron 13,33 y 17 Ton de fruta de rechazo con un volumen inferior de producción de 25,41 y 35,22 Ton, respectivamente, siendo superior al volumen de fruta descartada por la Hacienda “La Playa”.

Los principales defectos de calidad que contribuyen en el descarte de la fruta son: manos curvas, plagas, deformaciones en el dedo, sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensi*), cuello roto, estropeo, rasguños, mosaico entre otras (Figura 21).



**Figura 21.** Principales defectos del banano de rechazo como: A. Estropeo; B. Deformación; C. Plaga; D. Manos curvas.

#### **4.1.2. Caracterización de la fruta**

##### **Caracterización Física**

Para la caracterización física de banano de rechazo Cavendish (*Musa acuminata* AAA) se determinó el peso, longitud y los diámetros superior, medio e inferior. En la Tabla 3 se presenta el resultado promedio de 10 frutas analizadas.

**Tabla 3.** Caracterización física de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish

| Provincia | Peso*<br>(g)   | Longitud*<br>(cm) | Diámetro Superior*<br>(cm) | Diámetro Medio*<br>(cm) | Diámetro inferior*<br>(cm) |
|-----------|----------------|-------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Los Ríos  | 190,13 ± 15,22 | 25,38 ± 1,14      | 3,92 ± 0,12                | 3,94 ± 0,15             | 3,72 ± 0,13                |
| El Oro    | 173,62 ± 12,16 | 26,12 ± 1,48      | 3,31 ± 0,23                | 3,54 ± 0,21             | 3,32 ± 0,17                |

Los resultados de la Tabla 3, muestran el valor promedio de cada uno de los parámetros físicos evaluados, obteniéndose un peso promedio de 190,13 ± 15,22 y 173,62 ± 12,16 g, para banano procedente de Los Ríos y el Oro, respectivamente. Estos valores son similares al reportado por **Abbas *et al.* (2011)**, quien presentó un valor promedio de 174 g de peso en banano Cavendish (no es banano de rechazo). Sin embargo, se encontraron diferencias en los valores de longitud (18 cm) y diámetro (6 cm) respecto a los reportados en este trabajo, esto se puede atribuir al tipo de muestra utilizada puesto que presenta mucha variación tanto en su peso, longitud y diámetro al tratarse de dedos cortos, deformes, muy gruesos o muy delgados.

### Caracterización Química

Dentro de la caracterización química de banano se determinó el pH, acidez titulable, y sólidos solubles. Los resultados obtenidos dentro de esta caracterización se presentan como el promedio de 10 determinaciones (Tabla 4).

**Tabla 4.** Propiedades químicas del banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish

| Provincia | Sólidos solubles*<br>(°Brix) | pH*       | Acidez*<br>(%) |
|-----------|------------------------------|-----------|----------------|
| Los Ríos  | 1,24±0,07                    | 5,67±0,05 | 0,12±0,01      |
| El Oro    | 1,25±0,06                    | 5,67±0,04 | 0,12±0,01      |

Los parámetros químicos del banano de rechazo obtenido de las dos Provincias no tuvieron diferencias en su contenido de sólidos solubles (°Brix) de 1,24±0,07, pH de 5,67 ±0,05 y acidez (%) de 0,12 ±0,01 reportados en la Tabla 5, dichos valores son muy cercanos a los estudios presentados por **Madrigal *et al.* (2008)**, quienes obtuvieron valores de pH 5,45; 5,75 y 5,43; una acidez titulable de 0,14; 0,19 y 0,15 y el contenido de sólidos solubles 2,45 ; 3,83 y 1,75 °Brix para bananos de las variedades FHI-17, FHI-20 y FHI-23, respectivamente.

### 4.1.3. Caracterización física del almidón

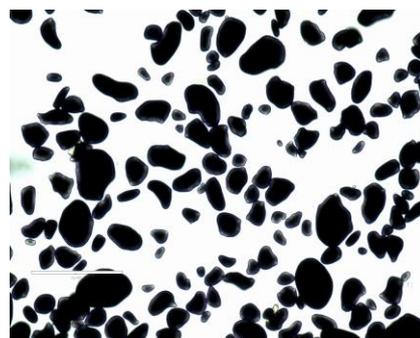
#### Forma y tamaño de los gránulos de almidón

Para la determinación del diámetro menor y mayor de las partículas de almidón de banano se capturo 10 fotografías (Figura 22) por cada provincia y se tomaron 10 determinaciones por cada muestra.

De acuerdo a los resultados de apariencia microscópica se determinó que los gránulos de almidón de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish presentan diversos tamaños y formas (ovaladas, elipsoidales, alargadas e irregulares) con superficies lisas. Estos resultados concuerdan con los reportado por **López et al. (2014)** quienes determinaron que los gránulos de almidón presentan aspectos amorfos.



Almidón de banano(Los Ríos)



Almidón de banano (El Oro)

**Figura 22.** Microfotografías de almidón de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish

En la Tabla 5, se presenta el diámetro promedio mayor y menor de 100 determinaciones (10 por fotografía) de las partículas de almidón de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish provenientes de El Oro y Los Ríos; pudiéndose observar que las muestras no presentaron variación entre sí. Estos valores se hallan dentro del rango (15 a 40  $\mu\text{m}$ ) reportado por **Rivas (2012)** para gránulos de almidón de banano.

**Tabla 5.** Tamaño del gránulo de almidón aislado de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish

| Provincia | Diámetro mayor (µm) | Diámetro menor (µm) |
|-----------|---------------------|---------------------|
| Los Ríos  | 26,26 ± 1,93        | 22,73 ± 1,96        |
| El Oro    | 28,08 ± 2,13        | 24,28 ± 2,10        |

### Rendimiento de la fruta

El volumen de fruta aprovechable se determinó a través del rendimiento de la fruta por duplicado, obteniéndose 54,92 % para Los Ríos y 51,06 % para El Oro (Tabla 6). La corteza representa el 45,08 % (Los Ríos) y 40,04 % (El Oro) del peso total de la fruta. Estos resultados concuerdan con los datos reportados por **Afanador (2005)** quien obtuvo un rendimiento de 57 % para pulpa y 43 % de corteza

**Tabla 6.** Rendimiento del almidón de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish.

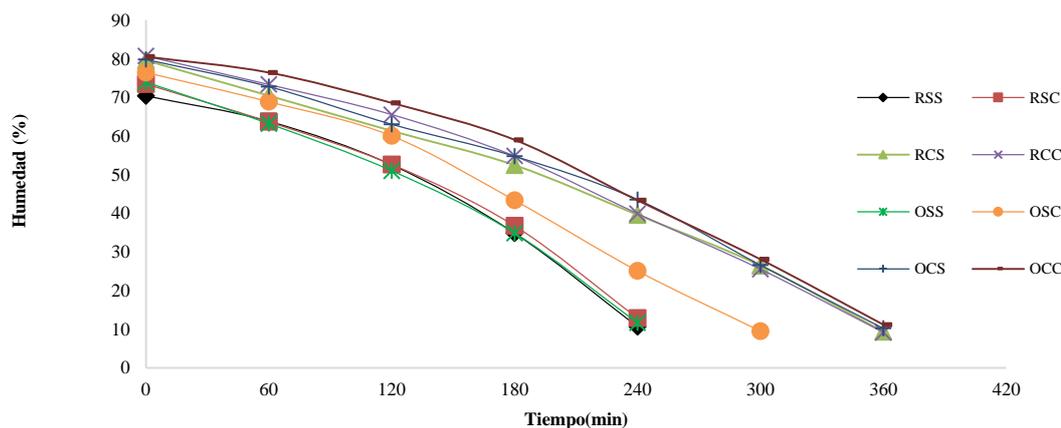
| Provincia | Peso Fruta (g)  | Peso pulpa (g) | Almidón húmedo (g) | Almidón seco (g) | Rendimiento de la fruta (%) | Rendimiento húmedo (%) | Rendimiento seco (%) |
|-----------|-----------------|----------------|--------------------|------------------|-----------------------------|------------------------|----------------------|
| Los Ríos  | 1110,5 ± 9,19   | 610,00 ± 21,21 | 28,82 ± 0,38       | 15,02 ± 0,01     | 54,92 ± 1,46                | 4,73 ± 0,23            | 15,93 ± 0,76         |
| El Oro    | 1121,50 ± 16,26 | 572,50 ± 3,74  | 38,35 ± 0,71       | 21,67 ± 0,12     | 51,06 ± 1,06                | 6,70 ± 0,08            | 22,57 ± 0,28         |

A partir de pulpa de banano se aisló almidón, obteniéndose un rendimiento de 4,73 % para muestras de la provincia de Los Ríos y 6,70 % para muestras de El Oro, en base húmeda. De igual manera, en base seca se obtuvieron rendimientos de 15,93 (Los Ríos) y 22,57 % (El Oro) con respecto al peso de la pulpa; estos resultados son superiores al valor reportado por **Miguel et al. (2008)** quienes obtuvieron un rendimiento de 12,54 % para pulpa de plátano Dominico Hartón (*Musa* AAB SIMMONDS), esto puede atribuirse a la variedad de fruta utilizada y al método de extracción.

#### 4.1.4. Elaboración de harina de banano

##### Cinética de secado

Durante el secado del banano se controló la humedad cada 1 h hasta que la misma alcanzó entre un 9 y 12 %. En la Figura 23 se observa como disminuye la humedad y la pérdida de peso con respecto al tiempo de secado.

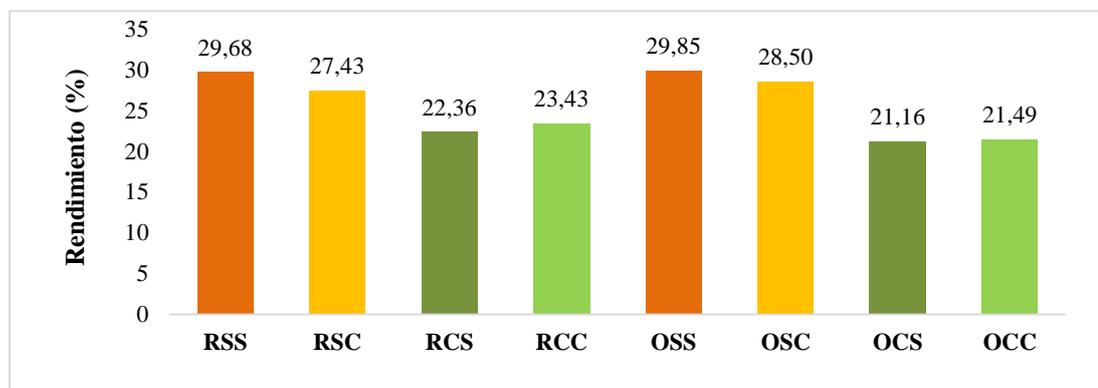


**RSS** Los Ríos, Sin corteza, Sin metabisulfito; **RSC**: Los Ríos, Sin corteza, Con metabisulfito; **RCS**: Los Ríos, Con corteza, Sin metabisulfito; **RCC**: Los Ríos, Con corteza, Con metabisulfito; **OSS**: El Oro, Sin corteza, Sin metabisulfito; **OSC**: El Oro, Sin cascara, Con metabisulfito; **OCS**: El Oro, Con corteza, Sin metabisulfito; **OCC**: El Oro, Con corteza a, Con metabisulfito

**Figura 23.** Pérdida de humedad de banana (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish.

### Rendimiento de la harina

Dentro de la elaboración de harina de banana se determinó el rendimiento en cada uno de los tratamientos establecidos como se muestra en la Figura 24; encontrándose valores entre 21,16 para la muestra OCS y 29,85 % para OSS. Los rendimientos obtenidos en el estudio fueron similares a los reportados por **Madrigal et al. (2008)** quienes obtuvieron rendimientos entre 20,46 y 29,37 % para harinas de banana de diferentes variedades.



**RSS** Los Ríos, Sin corteza, Sin metabisulfito; **RSC**: Los Ríos, Sin corteza, Con metabisulfito; **RCS**: Los Ríos, Con corteza, Sin metabisulfito; **RCC**: Los Ríos, Con corteza, Con metabisulfito; **OSS**: El Oro, Sin corteza, Sin metabisulfito; **OSC**: El Oro, Sin cascara, Con metabisulfito; **OCS**: El Oro, Con corteza, Sin metabisulfito; **OCC**: El Oro, Con corteza, Con metabisulfito

**Figura 24.** Rendimiento de la harina de banana (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish.

De acuerdo a los resultados expuestos en la Figura 24, se evidencia un menor rendimiento en los tratamientos elaborados con pulpa y corteza de banana (RCS, RCC, OCS y OCC). **Afanador (2005)**, obtuvo resultados similares en otras variedades de banana. El alto contenido de humedad en la corteza del banana (91 %); influye en el rendimiento de la harina, es así que, los tratamientos elaborados solo con pulpa y

corteza de banano perderán mayor cantidad de agua durante el secado que aquellos elaborados de pulpa, disminuyendo así su rendimiento.

#### 4.1.5. Propiedades físicas de la harina de banano

##### Granulometría

La determinación del tamaño del gránulo de los diferentes tratamientos de harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish (Tabla 7) se evaluó en base al módulo de finura y el módulo de uniformidad. Según **Espinosa y Quishpe (2013)** el módulo de finura de una harina se puede evaluar en tres rangos: fino (0-2), medio (2-4) y grueso (< 4). De acuerdo a lo reportado en la Tabla 7 las harinas obtenidas son finas que van en un rango de 1,07 a 1,71 para todos los tratamientos.

**Tabla 7.** Granulometría de harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish: Módulo de finura y módulo de uniformidad

| Tratamiento | Módulo de finura | Módulo de Uniformidad (%) |              |             |
|-------------|------------------|---------------------------|--------------|-------------|
|             |                  | Gruesos*                  | Medios*      | Finos*      |
| RSS         | 1,12 ± 0,02      | 1,47 ± 0,07               | 1,29 ± 0,03  | 7,24 ± 0,05 |
| RSC         | 1,07 ± 0,05      | 1,58 ± 0,07               | 1,06 ± 0,04  | 7,36 ± 0,12 |
| RCS         | 1,71 ± 0,00      | 2,61 ± 0,02               | 1,54 ± 0,02  | 5,85 ± 0,01 |
| RCC         | 1,32 ± 0,01      | 2,09 ± 0,01               | 1,14 ± 0,01  | 6,76 ± 0,02 |
| OSS         | 1,40 ± 0,01      | 2,26 ± 0,06               | 1,10 ± 0,06  | 6,64 ± 0,00 |
| OSC         | 1,37 ± 0,01      | 2,16 ± 0,07               | 1,19 ± 0,02  | 6,66 ± 0,05 |
| OCS         | 1,41 ± 0,01      | 2,25 ± 0,01               | 0,98 ± 0,00  | 6,77 ± 0,01 |
| OCC         | 1,28 ± 0,01      | 2,01 ± 0,01               | 1,07 ± 0,016 | 6,92 ± 0,00 |

De igual manera, el módulo de uniformidad se determinó en función de la cantidad de partículas gruesas, medias y finas que se encuentran presentes en la harina por cada 10 partes de harina de banano. Según los resultados reportados en la Tabla 7 existe una mayor proporción de partículas finas (5,85-7,36) respecto a las partículas medias (0,98-1,54) y gruesas (1,47-2,61).

##### Densidad

La densidad aparente es una propiedad aplicada con la finalidad de evaluar la relación entre la masa y el volumen ocupado. En harinas, permite evaluar el proceso de molienda (tamaño de partícula) y la porosidad, es así que las harinas que exhiben una

mayor densidad aparente mostrarán un menor volumen (**Dzudie y Hardy, 1996**). En las harinas de banano de rechazo desarrolladas los valores oscilan entre 0,73 g/mL y 0,83 g/mL (Tabla 8) estos resultados concuerdan con los valores reportados por **Pacheco-Delahaye et al. (2008)** quienes obtuvieron una densidad de 0,71 g/mL para harina de banano *Musa paradisiaca*.

**Tabla 8.** Densidad aparente de harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish

| Tratamientos | Densidad Aparente (g/mL) |
|--------------|--------------------------|
| RSS          | 0,73 ± 0,01              |
| RSC          | 0,83 ± 0,02              |
| RCS          | 0,78 ± 0,02              |
| RCC          | 0,71 ± 0,01              |
| OSS          | 0,68 ± 0,02              |
| OSC          | 0,72 ± 0,04              |
| OCS          | 0,63 ± 0,01              |
| OCC          | 0,70 ± 0,01              |

### Color de las harinas

El color es un parámetro físico importante en la calidad de la harina. Para describir los atributos básicos de color se determinó el tono hue (H°) la cromaticidad (C\*) y el índice de blancura (IB) en base a las coordenadas cromáticas (L\*, a\* y b\*), se realizó 5 determinaciones por cuadrante (Tabla 9). El tono es el nombre del color, la cualidad por la cual se distingue una familia de la otra, de colores cromáticos, como el rojo del amarillo. Valor es la luminosidad del color, cualidad a través de la cual se distinguen los colores claros de los oscuros y croma es la saturación del color o la intensidad de un tono distinto (**Garcia y Calixto, 2000**).

**Tabla 9.** Color de la harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish.

| Tratamientos | L*           | a*           | b*           | H°           | C*              | IB              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| RSS          | 73,80 ± 0,60 | 2,01 ± 0,13  | 12,87 ± 0,45 | 81,14 ± 0,35 | 13,02 ± 0,45 c  | 70,73 ± 0,57 b  |
| RSC          | 79,71 ± 0,36 | 0,21 ± 0,06  | 13,99 ± 0,41 | 89,15 ± 0,22 | 13,99 ± 0,41 c  | 75,35 ± 0,47 c  |
| RCS          | 59,27 ± 0,60 | 3,08 ± 0,14  | 13,73 ± 0,30 | 77,35 ± 0,34 | 14,07 ± 0,32 a  | 56,91 ± 0,61 a  |
| RCC          | 78,09 ± 0,45 | -0,62 ± 0,15 | 13,99 ± 0,56 | 92,54 ± 0,70 | 14,00 ± 0,55 c  | 73,99 ± 0,63 bc |
| OSS          | 67,22 ± 0,74 | 2,06 ± 0,13  | 10,58 ± 0,15 | 78,98 ± 0,60 | 10,78 ± 0,16 bc | 65,50 ± 0,74 a  |
| OSC          | 77,82 ± 0,83 | -0,12 ± 0,05 | 9,92 ± 0,45  | 90,68 ± 0,32 | 9,92 ± 0,44 c   | 75,69 ± 0,83 c  |
| OCS          | 66,91 ± 1,21 | 2,60 ± 0,36  | 12,16 ± 0,58 | 77,92 ± 1,72 | 12,44 ± 0,55 a  | 64,64 ± 1,21 a  |
| OCC          | 80,57 ± 0,23 | -2,12 ± 0,09 | 13,06 ± 0,42 | 99,23 ± 0,29 | 13,23 ± 0,41 c  | 76,49 ± 0,22 d  |

De acuerdo a los resultados planteados en la Tabla 9, se determinó que las harinas de banano elaboradas con metabisulfito de sodio (RSC, RCC, OSC, OCC) presentan una luminosidad alta entre 77,82 y 80,57, mientras que los tratamientos sin metabisulfito (RSS, RCS, OSS, OCS) presentaron una luminosidad menor entre 59,27 y 73,80 esto se debe a que el metabisulfito de sodio inhibe la acción de la polifenoloxidasas durante el cortado de la fruta, permitiendo obtener harinas con mayor luminosidad más cercanas al blanco (100). Los parámetros  $C^*$  y  $H^\circ$ , muestran que las harinas obtenidas a partir de banano sin metabisulfito, con y sin corteza (RSS, OSS, RCS y OCS) se ubicaron en el cuadrante amarillo-rojo, tendiendo hacia los colores marrones con baja saturación, el cual se debe al pardeamiento enzimático de la fruta, mientras los tratamientos con corteza y con metabisulfito (RCC, OCC) se encuentran en el cuadrante amarillo-verde con baja saturación debido a los pigmentos de la corteza del banano, los tratamientos sin corteza y con metabisulfito (RSC, OSC) tienden hacia el color amarillo con baja saturación, estableciéndose que la adición de antioxidante evita los cambios de color por efecto químico y enzimático en la fruta durante el secado. El índice de blanco mide el grado de desviación de las harinas con respecto a un blanco impoluto; los valores más bajos fueron encontrados en las harinas sin metabisulfito (RSS, RCS, OSS, OCS) entre 56,91 a 70,73, y los valores más altos en las harinas con metabisulfito (RSC, RCC, OSC, OCC) que va de 73,99 a 76,49. Estos resultados indican que las harinas con metabisulfito presentaron un color blanco amarillento (crema).

Con la finalidad de establecer el efecto de la zona de producción, el uso de pulpa y/o corteza y la adición de metabisulfito de sodio en la elaboración de harina de banano se aplicó un diseño anidado (Tabla 10) o jerárquico. Los resultados del análisis de varianza a un nivel de confianza del 95% ( $\alpha= 0,95$ ) se determinó que no existe diferencias significativas de la zona de producción (Los Ríos y El Oro) en el tono y el índice de blancura de las muestras. De igual manera, no existe una influencia significativa del uso de pulpa y/o corteza en el tono, el croma y el índice de blancura. Sin embargo, existe un efecto significativo de la zona de producción y el antioxidante en el croma y el índice de blancura, respectivamente.

**Tabla 10.** Valor p de los parámetros de Color de Harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish.

| Parámetro          | Valor p   |                 |                        |
|--------------------|-----------|-----------------|------------------------|
|                    | Tono (°H) | Cromaticidad *C | Índice de blancura (%) |
| Zona de producción | 0,3808    | 0,0234*         | 0,671                  |
| Fruta              | 0,3819    | 0,0689          | 0,1626                 |
| Antioxidante       | 0,0516    | 0,7510          | 0,0200*                |

\* Estadísticamente significativo a un nivel de confianza del 95 % ( $\alpha=0,05$ )

Los resultados obtenidos se atribuyen al efecto antioxidante del metabisulfito de sodio que evita el pardeamiento enzimático de la harinas; manteniendo el color blanco de las muestras. La contribución de cada factor se midió eliminando los efectos de los demás factores. Utilizando la prueba de Tukey al 5 % se fijó la diferencia existente.

#### 4.1.6. Propiedades químicas de la harina

Las propiedades químicas como: el contenido de almidón (%), amilosa (%) y fibra (%) son considerados dentro de los parámetros más importantes de la harina puesto que le confieren las propiedades fisicoquímicas y funcionales (CRA, PH, SOL) a la misma. Según los resultados obtenidos de la composición química de las harinas de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo desarrolladas (Tabla 11); estas presentan un alto contenido de almidón (67,48 -78,21 %), similar a lo reportado por **Soto (2010)** quien obtuvo 68,13%, de almidón para banano sin corteza de la misma variedad (*Musa acuminata* AAA; cultivar Cavendish). Con respecto al contenido de Amilosa, las muestras presentaron entre 12,82 y 17,98 % confirmando el estudio presentado por **Aparicio (2000)** quien obtuvo de 9,11 a 17,16 % de amilosa para banano (*Musa Cavendish*) variedad Gran enano.

**Tabla 11.** Caracterización química de la harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish

| Tratamientos | Almidón (%)  | Amilosa (%)  | Fibra (%)   |
|--------------|--------------|--------------|-------------|
| RSS          | 74,63 ± 0,02 | 14,33 ± 0,42 | 1,20 ± 0,05 |
| RSC          | 71,47 ± 0,01 | 14,16 ± 0,09 | 1,15 ± 0,09 |
| RCS          | 68,95 ± 0,00 | 14,76 ± 0,26 | 2,43 ± 0,03 |
| RCC          | 67,48 ± 0,00 | 12,82 ± 0,15 | 2,77 ± 0,02 |
| OSS          | 68,76 ± 0,00 | 14,50 ± 0,47 | 3,11 ± 0,02 |
| OSC          | 78,21 ± 0,19 | 17,98 ± 0,14 | 1,28 ± 0,04 |
| OCS          | 72,48 ± 0,11 | 13,29 ± 0,26 | 3,50 ± 0,08 |
| OCC          | 76,21 ± 0,03 | 15,22 ± 0,52 | 3,18 ± 0,17 |

El contenido de fibra varió en los distintos tratamientos, las harinas (RCS, RCC, OCS y OCC) que contienen corteza de banano en su composición presentan mayor cantidad de fibra cruda (3,50 %) que aquellas que son elaboradas a partir de pulpa de banano (1,15 %). Los resultados obtenidos en este estudio para harina de banano son similares a los reportados por **Pérez et al. (2010)** quienes obtuvieron entre 1-1,4 %; **Gil et al. (2011)** por su parte reportó 2,35% de fibra para harina de pulpa y corteza de banano.

**Tabla 12.** Valor p de las propiedades químicas de la harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish: Almidón, Amilosa y Fibra

| Parámetro          | Valor p |         |         |
|--------------------|---------|---------|---------|
|                    | Almidón | Amilosa | Fibra   |
| Zona de producción | 0,3120  | 0,3249  | 0,1025  |
| Fruta              | 0,5265  | 0,3283  | 0,0369* |
| Antioxidante       | 0,4926  | 0,4938  | 0,3273  |

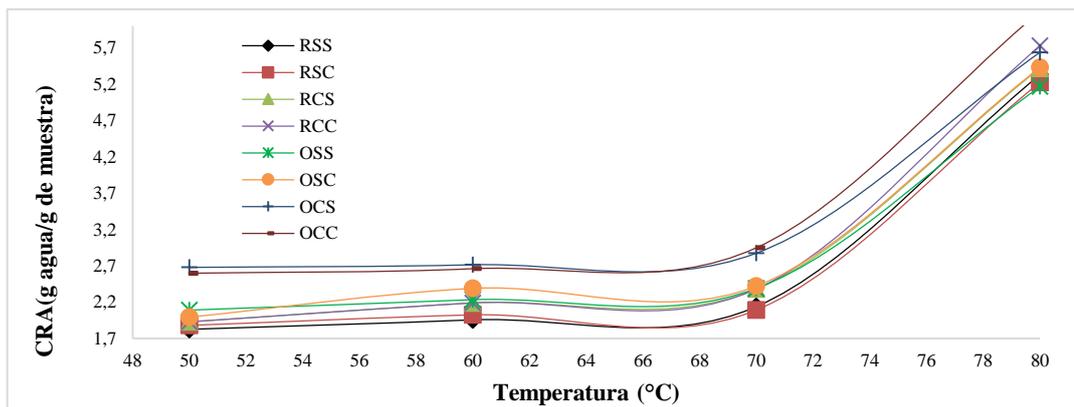
\* Estadísticamente significativo a un nivel de confianza del 95 % ( $\alpha=0,05$ )

De igual manera, se realizó un análisis estadístico empleando un diseño jerárquico como se muestra en la Tabla 12; determinándose que no existe una influencia significativa ( $p>0,05$ ) de la zona de producción y la incorporación de antioxidante (metabisulfito de sodio) sobre los parámetros químicos de las harinas evaluadas; sin embargo la inclusión de corteza de banano en la elaboración de la harina permitió incrementar su contenido de fibra cruda presentando un valor p de 0,036.

#### 4.1.7. Propiedades Funcionales de la harina de banano de rechazo

##### Capacidad de Retención de Agua (CRA)

La capacidad de retención de agua es un parámetro importante para el desarrollo de películas biodegradable y. de acuerdo a lo reportado por **Crosbie (1991)** la CRA indica la capacidad del polímero para interactuar con el agua de solvatación, además, es una media indirecta de las características físicas (consistencia) de la dispersión formada.

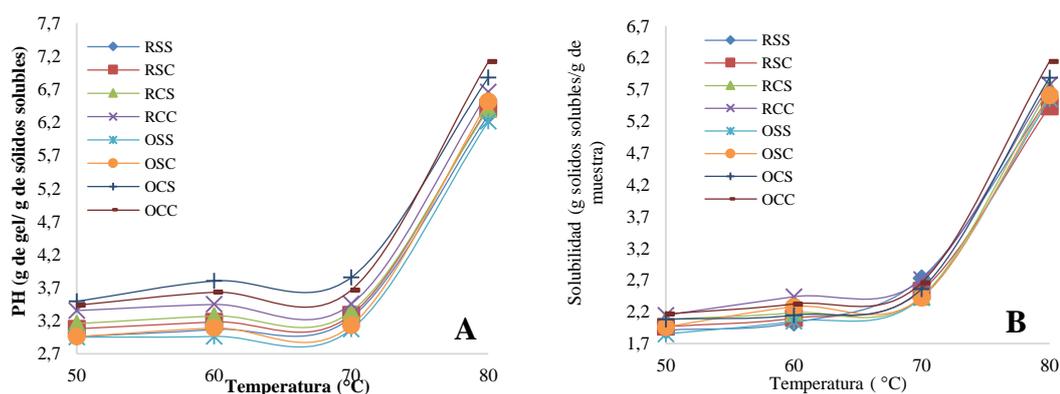


RSS: Los Ríos, Sin corteza, Sin metabisulfito; RSC: Los Ríos, Sin corteza, Con metabisulfito; RCS: Los Ríos, Con corteza, Sin metabisulfito; RCC: Los Ríos, Con corteza, Con metabisulfito; OSS: El Oro, Sin corteza, Sin metabisulfito; OSC: El Oro, Sin cascara, Con metabisulfito; OCS: El Oro, Con corteza, Sin metabisulfito; OCC: El Oro, Con corteza a, Con metabisulfito

**Figura 25.** Capacidad de retención de agua (CRA g de agua/g de muestra) de la harina de banano (*Musa Acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish.

En la Figura 25 se presenta el efecto de la temperatura en la CRA de los diferentes tratamientos desarrollados, observándose que conforme se incrementa la temperatura existe mayor retención de agua, por lo tanto los valores más altos se registraron a 80 °C. El tratamiento que presentó la mayor CRA fue el OCC con 6,20 g de agua/g de muestra y el mínimo de 5,16g de agua/g de muestra. Estos resultados son cercanos a los reportados por **Abbas et al. (2011)** quienes obtuvieron 6,31 g de agua/ g de muestra para harina de banano (*Musa acuminata* L., cv Cavendish)

### Poder de hinchamiento (PH) e índice de solubilidad



RSS: Los Ríos, Sin corteza, Sin metabisulfito; RSC: Los Ríos, Sin corteza, Con metabisulfito; RCS: Los Ríos, Con corteza, Sin metabisulfito; RCC: Los Ríos, Con corteza, Con metabisulfito; OSS: El Oro, Sin corteza, Sin metabisulfito; OSC: El Oro, Sin cascara, Con metabisulfito; OCS: El Oro, Con corteza, Sin metabisulfito; OCC: El Oro, Con corteza a, Con metabisulfito

**Figura 26.** Poder de hinchamiento (A) y solubilidad (B) de harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish

El poder de hinchamiento (Figura 26-A; Tabla 13) y la solubilidad (Figura 26-B, Tabla 13) siguen el mismo patrón de comportamiento de la CRA (Tabla 13); por lo tanto, están relacionados con la temperatura. Así al incrementar la temperatura las harinas presentaron mayor solubilidad e hinchamiento de sus partículas. Los tratamientos con mayor poder de hinchamiento y solubilidad (OCC y OCS) alcanzaron 7,11 g y 6,14 g sólidos solubles/g de muestra, mientras que los tratamientos RSS y RCC mostraron un menor poder de hinchamiento y solubilidad 6,21 y 5,43 g sólidos solubles/g de muestra, respectivamente. Los valores obtenidos en este estudio son similares a los reportados por **Bezerra et al. (2013)** quienes obtuvieron un poder de hinchamiento de 6,18g/g para harina de banano con corteza y 5,74 g/g para harina sin corteza. Este autor reportó una solubilidad de 5,36 g/g de harina de banano con corteza y 4,48 g/g para harina de banano sin corteza a 70 °C.

El contenido de almidón (68,48-78,21 %); amilosa (12,82-17,98 %) y fibra cruda (1,15-3,5 %), presente en los diferentes tratamientos influye en las propiedades funcionales de las harinas. Es así que los valores más altos de fibra y almidón se encontraron en harinas elaboradas con pulpa y corteza del banano obteniendo mayor capacidad de retención de agua, poder de hinchamiento y solubilidad, que aquellas harinas elaboradas con la pulpa del banano. Los valores de fibra están relacionados con los sólidos insolubles, en el sentido en cuanto mayor es la proporción de sólidos insolubles mayor es la capacidad de retener agua de las harinas ricas en fibra (**Cordova, 2005**)

**Tabla 13.** Propiedades funcionales de la harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish

| Tratamiento | Capacidad de Retención de Agua (g/g) | Poder de Hinchamiento (g/g) | Solubilidad (g/g) |
|-------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| RSS         | 5,33 ± 0,03a                         | 6,13 ± 0,15a                | 5,30 ± 0,00a      |
| RSC         | 5,22 ± 0,31a                         | 6,32 ± 0,04b                | 5,38 ± 0,47a      |
| RCS         | 5,41 ± 0,07a                         | 6,62 ± 0,05d                | 5,72 ± 0,34b      |
| RCC         | 5,72 ± 0,18b                         | 6,54 ± 0,34c                | 5,87 ± 1,61b      |
| OSS         | 5,16 ± 0,09a                         | 6,29 ± 0,07a                | 5,26 ± 0,09a      |
| OSC         | 5,43 ± 0,12a                         | 6,39 ± 0,11b                | 5,36 ± 0,01a      |
| OCS         | 5,63 ± 0,09a                         | 6,66 ± 0,01d                | 5,89 ± 0,10b      |
| OCC         | 6,2 ± 0,01c                          | 6,78 ± 0,07e                | 6,14 ± 0,02c      |

El análisis estadístico de las propiedades funcionales es presentado en la Tabla 14, determinándose que no existe una influencia significativa ( $\alpha= 0,95$ ) de la zona de producción y la adición de antioxidante (metabisulfito de sodio) en las propiedades funcionales de las harinas de banano ( $p<0,05$ ). Sin embargo, la incorporación de corteza en la harina influye en la CRA ( $p= 0,036$ ; Tabla 27), el PH ( $p=0,001$ ; Tabla 28) y la SOL ( $p=0,001$ ; Tabla 29), esto puede atribuirse al alto contenido de fibra que le aporta la corteza.

**Tabla 14.** Valor p de las propiedades funcionales de harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish

| Parámetro          | Valor p                        |                       |             |
|--------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------|
|                    | Capacidad de Retención de Agua | Poder de Hinchamiento | Solubilidad |
| Zona de producción | 0,2759                         | 0,0639                | 0,2498      |
| Fruta              | 0,0362 *                       | 0,0019 *              | 0,0012 *    |
| Antioxidante       | 0,1511                         | 0,1756                | 0,1093      |

\* Estadísticamente significativo a un nivel de confianza del 95 % ( $\alpha=0,05$ )

Las propiedades funcionales de la harina aportan información sobre la composición y el estado estructural de los componentes no solubles (fibra).

## Color

El color de las películas biodegradables elaboradas con harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish se evaluó en función de las características cromáticas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . Los valores de luminosidad ( $L^*$ ) de las muestras estudiadas fueron de 51,59 hasta 83,06; los tratamientos (OSC) que presentaron mayor luminosidad fueron aquellos que provienen de harinas con agente antioxidante (metabisulfito de sodio) el cual inhibe el pardeamiento enzimático de la harina. Los valores de  $a^*$  presentaron una tendencia hacia el color rojo, excepto los tratamientos RSC,OSC,OCC que tendieron hacia el color verde; su variación respecto a los otros tratamientos se debe a la materia prima empleada que fue harina con metabisulfito. Con respecto al parámetro  $b^*$ , los valores son positivos en todas las películas y van de 6,78 a 30,92 tendiendo hacia el color amarillo; los valores más altos se registraron en las películas elaboradas a partir de harinas sin metabisulfito de sodio. Según (Blanco *et al.*, 2014) la tonalidad amarilla puede ser provocada por la reacción de Maillard, la cual se lleva a cabo entre el grupo amino libre de la proteína y el grupo carbonilo del glicerol, formando pigmentos marrones.

**Tabla 15.** Color de las películas biodegradables de harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish

| TRATAMIENTOS | L*         | a*         | b*         | $\Delta E$   | IY           | IB           |
|--------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| RSS          | 76,57±0,37 | 2,72±0,18  | 18,15±0,09 | 22,73±0,27 a | 33,86±0,33 a | 70,24±0,17 b |
| RSC          | 81,55±0,91 | -0,33±0,09 | 13,03±1,00 | 15,34±1,34 a | 22,84±2,0 a  | 77,41±0,66 b |
| RCS          | 51,59±2,22 | 9,79±1,54  | 28,42±1,85 | 49,17±1,06 b | 78,66±1,75 b | 42,98±0,61 a |
| RCC          | 79,54±0,81 | 1,03±0,26  | 16,65±2,01 | 19,55±2,08 a | 29,92±3,92 a | 73,59±0,94 b |
| OSS          | 75,33±0,73 | 1,95±0,26  | 15,65±0,65 | 21,62±1,00 a | 29,68±1,52 a | 70,72±0,49 b |
| OSC          | 83,06±1,17 | -1,16±0,03 | 6,78±0,63  | 9,75±1,31 a  | 11,66±1,25 a | 81,72±0,66 b |
| OCS          | 54,56±1,51 | 9,16±1,26  | 30,92±1,85 | 48,18±2,55 b | 81,06±7,08 b | 44,27±1,23 a |
| OCC          | 82,00±0,03 | -0,22±0,10 | 12,38±0,30 | 14,56±0,25 a | 21,57±0,52 a | 78,15±0,10 b |

En base a los resultados de los parámetros L\*, a\* y b\* se determinó la variación de color ( $\Delta E$ ) de las películas biodegradables, obteniéndose valores de 9,75 a 49,17; un índice de amarillez de 11,66 a 81,06 y un índice de blancura de 42,98 a 78,15. De igual manera, las películas que presentaron mayor variabilidad, índice de amarillez pero menor índice de blancura fueron (RCS, OCS) aquellas elaboradas con corteza y pulpa de banano sin metabisulfito. El índice de blancura y amarillez están influenciados por el tipo de materia prima utilizada. Según **Zamudio et al. (2010)** el cambio en la luminosidad (L\*),  $\Delta E$ , IY e IB, se debe a que el fruto de plátano es muy susceptible a sufrir reacciones de oscurecimiento enzimático, las cuales ocurren al cortar y pelar el fruto, exponiendo las enzimas como la polifenoloxidasas a la presencia del oxígeno. Esto desencadena las reacciones de oscurecimiento enzimático, que no pueden ser completamente eliminados durante los procesos de modificación.

**Tabla 16.** Valores p de los parámetros de color de las películas biodegradables de harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish: Diferencial de color, Índice de amarillez e Índice de blancura

| Parámetro          | Valor p                             |                          |                         |
|--------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|
|                    | Diferencial de Color ( $\Delta E$ ) | Índice de Amarillez (IY) | Índice de Blancura (IB) |
| Zona de producción | 0,6016                              | 0,6298                   | 0,6734                  |
| Fruta              | 0,0504                              | 0,0505                   | 0,0596                  |
| Antioxidante       | 0,0211*                             | 0,0284*                  | 0,0243*                 |

\* Estadísticamente significativo a un nivel de confianza del 95 % ( $\alpha=0,05$ )

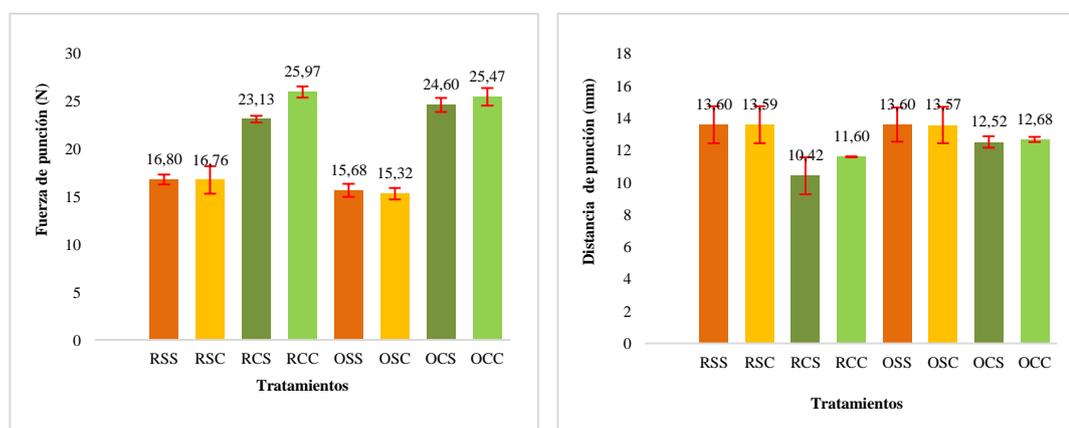
En base a los resultados estadísticos obtenidos, no existe una influencia significativa ( $\alpha=0,05$ ;  $p<0,05$ ) de la zona de producción y el tipo de materia prima en el diferencial

de color ( $\Delta E$ ; Tabla 30), el índice de amarillez (IA; Tabla 31) y el índice de blancura (IB; Tabla 32) como se muestra en la Tabla 15. Sin embargo, el uso de metabisulfito de sodio como antioxidante afecta los tres parámetros antes mencionados (Tabla 16) puesto que el uso de este componente evita cambios de color en la fruta por procesos químicos y enzimáticos, por lo tanto es estadísticamente significativo en todos los tratamientos ( $p < 0,05$ ).

#### 4.1.8. Propiedades Mecánicas

##### Punción

Con un texturómetro Brookfield CT3 se determinó la dureza de las películas biodegradables desarrolladas, observándose mayor resistencia a la deformación en los tratamientos RCS, RCC, OCS y OCC requiriendo de una fuerza de deformación (Figura 27-A) de 23,13; 25,97; 24,60 y 25,47 N; respectivamente. Los valores de fuerza de punción obtenidos en este estudio son superiores al presentado por **Moreno Toasa (2015)** quien obtuvo  $14,71 \pm 0,05$  N para películas biodegradables de harina de plátano (*Musa paradisiaca*).



**RSS:** Los Ríos, Sin corteza, Sin metabisulfito; **RSC:** Los Ríos, Sin corteza, Con metabisulfito; **RCS:** Ríos, Con corteza, Sin metabisulfito; **RCC:** Los Ríos, Con corteza, Con metabisulfito; **OSS:** El Oro, Sin corteza, Sin metabisulfito; **OSC:** El Oro, Sin cascara, Con metabisulfito; **OCS:** El Oro, Con corteza, Sin metabisulfito; **OCC:** El Oro, Con corteza a, Con metabisulfito

**Figura 27.** Fuerza (N) y distancia (mm) de punción de 8 películas biodegradables de harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo

Estos resultados están relacionados con el tipo de materia prima utilizada (harina de banano con corteza) puesto que estas harinas presentan un alto contenido de fibra cruda (2,43; 2,77; 3,50 y 3,18 %). Según **Rodríguez Marín (2015)**, **Dias et al. (2010)** y

**Villada et al. (2008)**, la fibra por su composición (celulosa, hemicelulosa y pectina) permite la formación de una matriz que envuelve el almidón y las proteínas; mejorando las propiedades mecánicas de las películas. Además, incrementa la resistencia a la tracción y el módulo elástico, disminuyendo su capacidad de elongación

La elasticidad o distancia de punción (Figura 27-B) de las películas biodegradables fue mayor en los tratamientos RSS, RSC, OSS y OSC. Estas películas fueron elaboradas con harina de banano sin corteza, presentando un alto contenido de almidón de 74,63; 71,47; 68,76 y 78,21 %, respectivamente. La funcionalidad del almidón se debe en gran parte a sus dos componentes de alto peso molecular: la amilosa y la amilopectina. La amilosa es la responsable de la capacidad de formación de las películas y de sus propiedades mecánicas, proporcionándoles mayor fuerza y flexibilidad (**Zamudio et al. , 2010**). La distancia de punción de los tratamientos RSS, RSC, OSS y OSC alcanzaron valores de 13,60; 13,59; 13,60 y 13,57 mm, respectivamente; estos valores son similares a los presentados por **Harper et al. (2015)**, quienes obtuvieron valores entre 10,42 y 13,60 mm para películas con alginato.

**Tabla 17.** Valores p de los parámetros de fuerza de punción y deformación de punción de películas biodegradables de harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish

| Parámetro          | Valor p               |                             |
|--------------------|-----------------------|-----------------------------|
|                    | Fuerza de punción (N) | Deformación de punción (mm) |
| Zona de producción | 0,6302                | 0,1673                      |
| Fruta              | 0,0003*               | 0,0193*                     |
| Antioxidante       | 0,3392                | 0,5276                      |

\* Estadísticamente significativo a un nivel de confianza del 95 % ( $\alpha=0,05$ )

En base a los resultados estadísticos (Tabla 17) de fuerza de punción se estableció que existe una influencia significativa ( $\alpha=0,05$ ) del tipo de materia prima empleada en el desarrollo de las diferentes películas biodegradables; estableciéndose que el uso de harina de pulpa y corteza de banano (harina rica en fibra) aportan en la resistencia de la película (> fuerza de punción; N), presentando un valor p de 0,0003 (Anexo 4 - Tabla 33). Estos resultados se atribuyen al efecto de la interacción de la fibra con otros biopolímeros como el almidón cuya combinación refuerza la estructura de la matriz polimérica haciéndolas más resistentes a la fractura, y por lo tanto se requiere mayor fuerza para su deformación y ruptura (**Dias et al. , 2010; Rodríguez Marín, 2015**).

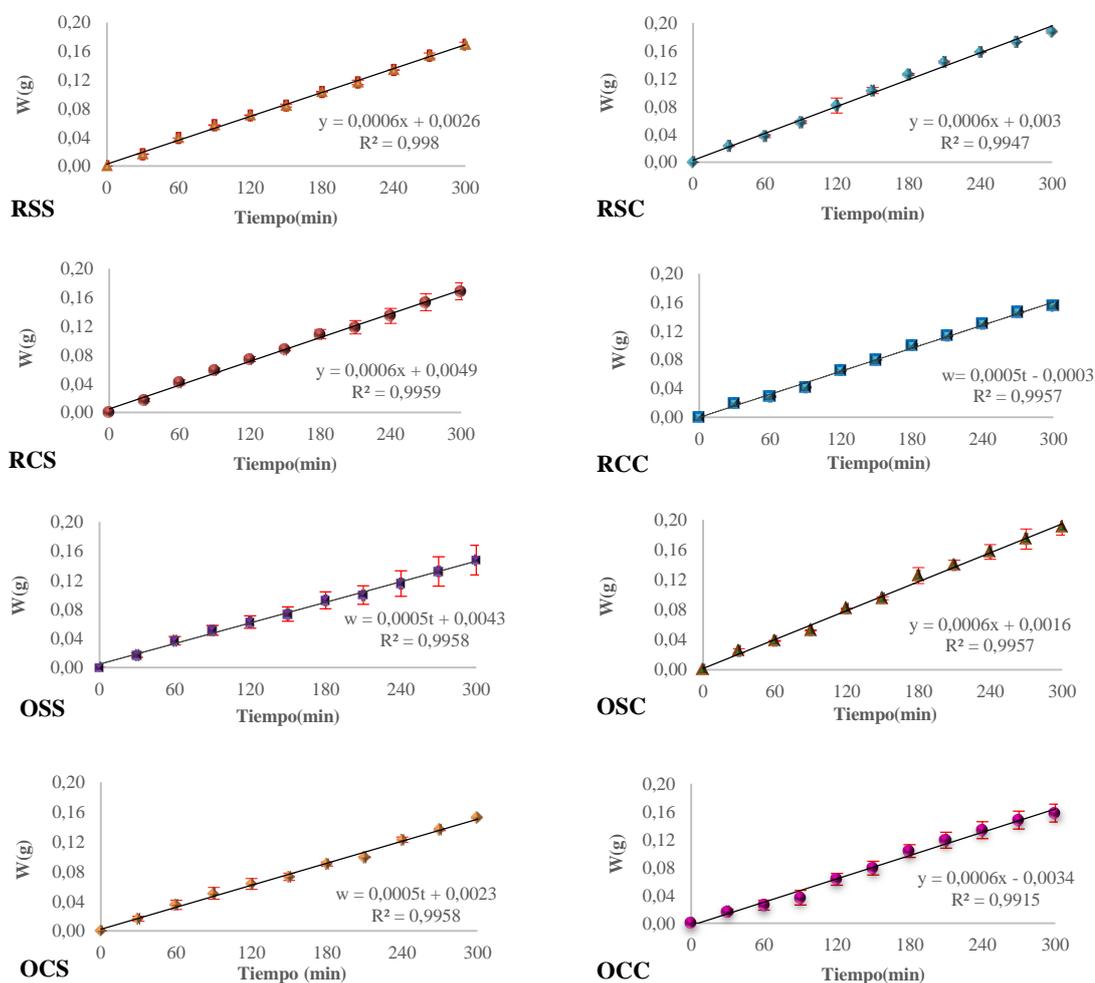
De igual manera, la distancia de punción (Tabla 17 y 34) entre los parámetros analizados (zona de producción, fruta y antioxidante) fue estadísticamente diferente el parámetro fruta ( $p=0,0193$ ), y podría deberse al contenido o no de corteza en las muestras analizadas. Sin embargo, las muestras que presentaron mayor elongación (RSS, RSC, OSS, OSC) fueron aquellas elaboradas con harina de banano con alto contenido de almidón. Esto se debe a que las películas pobres en amilosa y ricas en fibra permiten la obtención de una película menos elástica y más rígida (**Zamudio et al. , 2010**).

#### **4.1.9. Propiedades de Barrera**

##### **Permeabilidad al vapor de agua**

La permeabilidad al vapor de agua (PVA) es una propiedad de barrera importante para el envasado de alimentos, puesto que el deterioro de los mismos depende de la humedad de la película que los cubre y su capacidad de barrera durante la transferencia de masa (gases o vapor de agua. La alta permeabilidad al vapor de agua, es una de las principales limitaciones en el uso de películas a base de polímeros naturales, como materiales de envase para alimentos. Por lo tanto, la reducción de la permeabilidad al vapor de agua es deseable, sin embargo en el caso de ser necesario liberar gases producidos por reacciones metabólicas del alimento, (respiración de frutos después de ser cosechados) es deseable una alta permeabilidad del material de empaque. (**Butler B., 2002; Mendoza, 2012**)

En la Figura 28 se presenta el estudio de PVA, donde se observa que existe una relación directamente proporcional entre el tiempo y la ganancia de peso del gel de sílice para todos los tratamientos.



**RSS:** Los Ríos, Sin corteza, Sin metabisulfito; **RSC:** Los Ríos, Sin corteza, Con metabisulfito; **RCS:** Ríos, Con corteza, Sin metabisulfito; **RCC:** Los Ríos, Con corteza, Con metabisulfito; **OSS:** El Oro, Sin corteza, Sin metabisulfito; **OSC:** El Oro, Sin cascara, Con metabisulfito; **OCS:** El Oro, Con corteza, Sin metabisulfito; **OCC:** El Oro, Con corteza a, Con metabisulfito

**Figura 28.** Permeabilidad al vapor de agua (PVA) de las películas biodegradables de harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish

En la Tabla 18 se reporta la cantidad de vapor de agua transferida ( $m^{-1} \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-1}$ ) a través de la película, obteniéndose valores entre  $3,16$  a  $6,89 \times 10^{-10} g \cdot m^{-1} \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-1}$ , los cuales fueron superiores a los presentados por **Pelissari et al. (2013)** quienes obtuvieron  $2,00 \times 10^{-10} g \cdot m^{-1} \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-1}$  para películas de harina de plátano (*Musa paradisiaca*), Según dichos autores, la variabilidad de los resultados pueden estar influenciados por la composición de la película (4 % harina p/v, harina/agua; 19 % p/p, glicerol/ harina), puesto que la permeabilidad incrementa a medida que la concentración del plastificante aumenta siendo mayor en compuestos hidrófilos (glicerol), depende también del espesor de la película, la homogeneidad en la

dispersión del material, también está influenciada por la variedad y tipo de materia prima utilizada; considerándose que el contenido de permeabilidad al vapor de agua de las películas de banano es alta en comparación con películas de harina de arroz ( $1,1 \times 10^{-10} \text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$ ), quinoa ( $0,6 \times 10^{-10} \text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$ ) y amaranto ( $0,7 \times 10^{-10} \text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$ ). Según Rodríguez (2013) la alta permeabilidad al vapor de agua de las películas de plátano puede atribuirse también al alto contenido de fibra en la harina de plátano, las interacciones entre los componentes de la fibra cruda (celulosa, hemicelulosa y pectina ) y los sitios hidrófilos de los componentes del almidón (amilosa y amilopectina), con el glicerol pueden producir un alto nivel de enlaces puente de hidrogeno y a su vez espaciamiento intra-molecular, incrementando los valores de Permeabilidad.

**Tabla 18.** Permeabilidad al vapor de agua (PVA) de las películas biodegradables de harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish

| Tratamientos | Permeabilidad al vapor de agua<br>( $\times 10^{-10} \text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$ ) |
|--------------|---|
| RSS          | $4,17 \pm 1,24$   |
| RSC          | $3,16 \pm 0,39$   |
| RCS          | $3,16 \pm 1,03$   |
| RCC          | $4,78 \pm 0,40$   |
| OSS          | $6,24 \pm 0,78$   |
| OSC          | $4,05 \pm 0,33$   |
| OCS          | $5,71 \pm 1,02$   |
| OCC          | $6,89 \pm 1,62$   |

### Solubilidad al agua de películas biodegradables

La solubilidad en agua es una propiedad que permite orientar la aplicación de las películas en el envasado de alimentos. En ciertas aplicaciones se requiere una baja solubilidad durante el almacenamiento para mantener la integridad del producto y la resistencia a la humedad, mientras que en procesos de encapsulación se requiere películas altamente solubles (Yanchapaxi y Maribel, 2014).

La solubilidad de películas a base de harina de banano se encuentra en los rangos de 50,53 a 60,02 % (Tabla 19). Estos valores son superiores a los resultados presentados por otros autores Pelissari *et al.* (2013), Jirukkakul. (2016) quienes reportaron solubilidades entre 12,72-25,93 % y 27,9 % para harina de banano (*Musa acuminata*

AAA) Gross Michel y en harina de plátano (*Musa paradisiaca*), respectivamente. Estos resultados se atribuyen al tipo de materia prima utilizada en el desarrollo de las películas biodegradables, el tipo de interacciones de los polímeros (almidón, proteína, lípido y fibra) que contiene la harina y del tipo y concentración de agente plastificante

**Tabla 19.** Solubilidad al agua de películas biodegradables de harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish

| Tratamiento | Solubilidad (%) |
|-------------|-----------------|
| RSS         | 50,53±0,68 c    |
| RSC         | 50,58±0,17 c    |
| RCS         | 57,02±0,80 a    |
| RCC         | 59,18±0,67 a    |
| OSS         | 52,75±0,64 a    |
| OSC         | 53,58±0,74 d    |
| OCS         | 54,19±0,26 a    |
| OCC         | 60,02±0,63 a    |

Según los resultados estadísticos obtenidos, no existe una influencia significativa ( $\alpha=0,05$ ;  $p<0,05$ ) de la zona de producción (Los Ríos y El Oro), la materia prima (pulpa de fruta y pulpa-corteza) y el antioxidante (metabisulfito de sodio) en la PVA de las películas biodegradables a base de harina de banano (Tabla 20). Según **Pellisari et al. (2013)**, estos resultados se atribuyen a la diferencia en la microestructura y la alta higroscopicidad de las películas de harina de banano, por lo que puede identificarse un incremento en el contenido de humedad, debido a la fuerte interacción entre las proteínas y la fibra con el agua. De acuerdo a **Müller et al. (2011)**, la estructura abierta formada por la red tridimensional entre las interacciones almidón-glicerol de las películas también contribuyen con la difusión de las moléculas de vapor de agua.

**Tabla 20.** Valores p de la permeabilidad al vapor de agua (PVA) y la solubilidad de películas biodegradables de harina de banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish

| Parámetro          | Valor p                        |                 |
|--------------------|--------------------------------|-----------------|
|                    | Permeabilidad Vapor Agua (PVA) | Solubilidad (%) |
| Zona de producción | 0,0785                         | 0,6022          |
| Fruta              | 0,4188                         | 0,0159*         |
| Antioxidante       | 0,9078                         | 0,1957          |

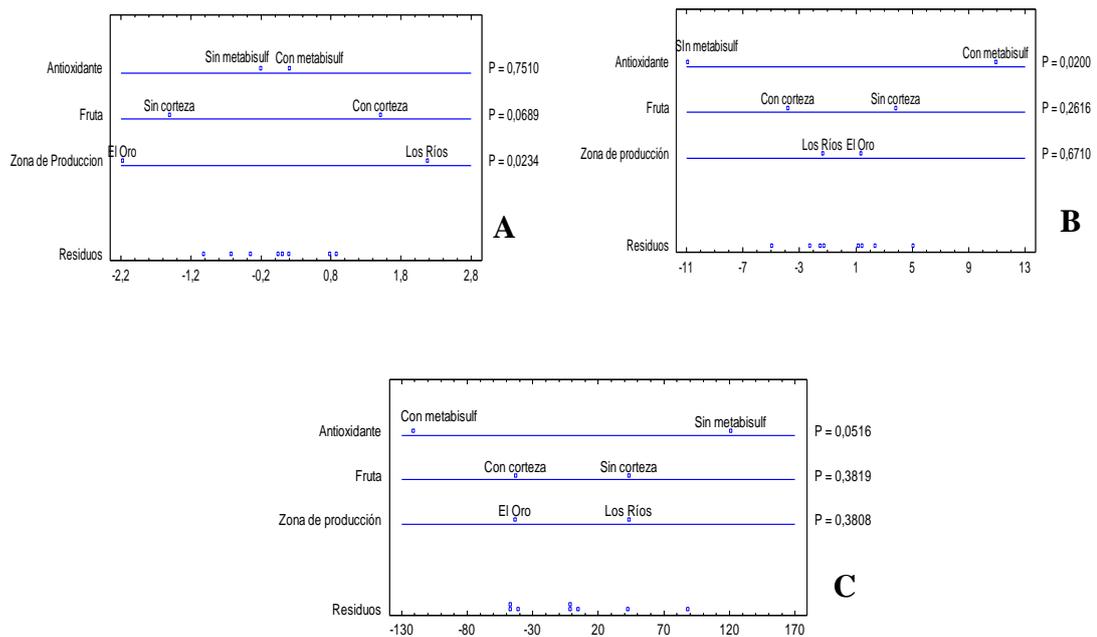
Según los resultados estadísticos (Anexo 4 - Tabla 35) obtenidos, no existe una influencia significativa ( $\alpha=0,05$ ;  $p<0,05$ ) de la zona de producción y la adición de

antioxidante (metabisulfito de sodio) en la solubilidad de las películas biodegradables a base de harina de banano, como se muestra en la Tabla 20. Sin embargo, la materia prima (con y sin corteza) influye significativamente ( $p < 0,05$ ) en este parámetro. Según **(Pelissari *et al.* (2013))** la harina de banano posee una estructura abierta y porosa que facilita la solubilidad de la película en agua (27,9 %) ,a diferencia de las película elaborada a base de almidón de banano que presenta menor solubilidad (21,3 %) ,también se debe tomar en cuenta que fibra es un componente de carácter hidrófilo lo cual facilita las interacciones entre los grupos afines con el agua, es así que a mayor contenido de fibra se obtuvo mayor solubilidad.

#### **4.2.VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

A partir de un diseño factorial anidado. Se consideró como efecto principal la zona de producción (factor A) y como factores anidados se planteó la inclusión de corteza (factor B) y el uso de un antioxidante (factor C) en el desarrollo de la harina. Se estableció que la zona de producción, la inclusión de corteza y el uso de metabisulfito si influyen en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de las harinas, mientras que en las películas biodegradables existió influencia significativa de la inclusión de corteza y del uso de metabisulfito en las propiedades ópticas, mecánicas y de barrera de las mismas.

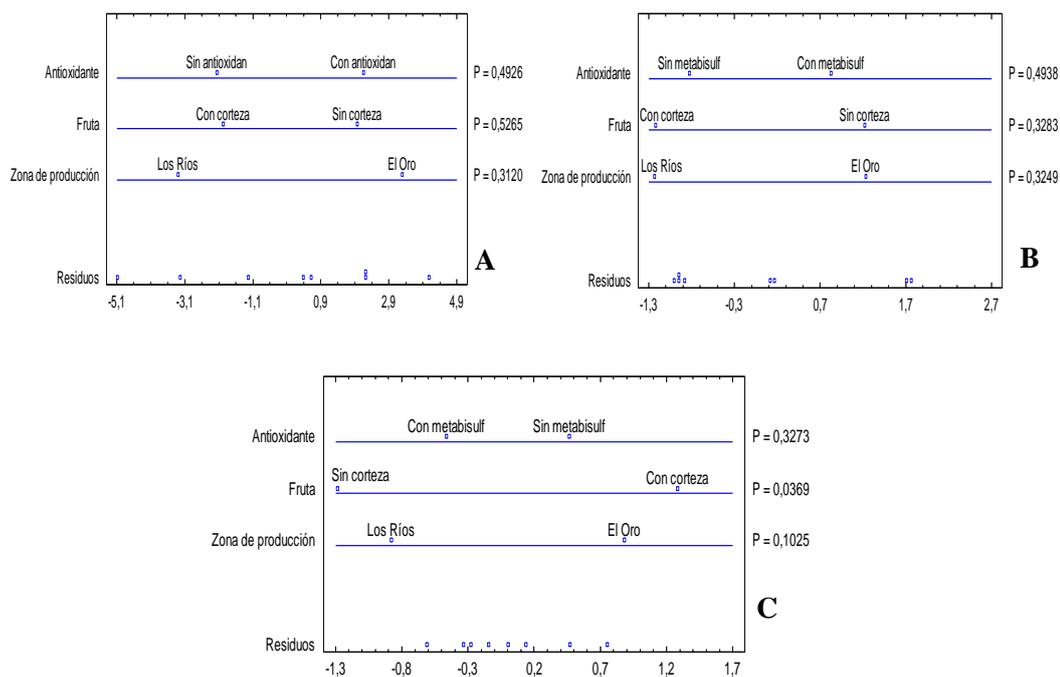
En base a los resultados obtenidos mediante análisis de varianza de los parámetros físicos (color) se determinó que existe un efecto estadísticamente significativo de la zona de producción, sobre la cromaticidad ( $p=0,0234$ ) de las harinas desarrolladas, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, como se muestra a la Figura 29-A. Sin embargo no afecta el índice de blancura ( $p=0,6710$ ; Fig. 29-B) y el tono ( $p=0,3808$ ; Fig. 29-C) de las muestras.



**Figura 29.** Gráficos de ANOVA para las propiedades físicas de harina de banano. A: Cromaticidad, B: Índice de blancura y C: Tono ( $^{\circ}$ Hue)

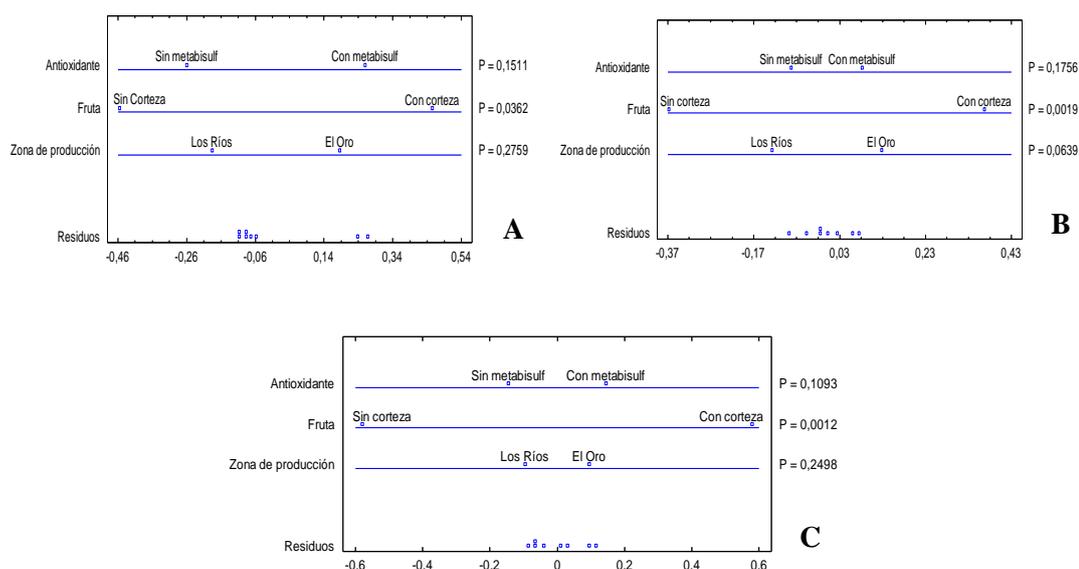
El uso de un agente antioxidante como el metabisulfito de sodio no influye en la cromaticidad (Fig. 29-A ) y el tono Hue ( $^{\circ}$ H ;Fig. 29-B); por lo tanto se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ), puesto que su valor p fue de 0,7510 y 0,0516, en ese orden Sin embargo, el Índice de blancura (IB; Fig. 29-C) de las harinas de banano se vio influenciado significativamente ( $p=0,2010$ ) por el antioxidante, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ).

El análisis de varianza realizado para las propiedades químicas de la harina de banano, permitió establecer que la zona de producción (El Oro, Los Ríos), la fruta (sin y con corteza), y el uso de antioxidante (sin y con metabisulfito), no influye significativamente en el contenido de almidón (%;  $p > 0,05$ ) y amilosa (%;  $p > 0,05$ ) de los diferentes tratamientos obtenidos, como se observa en la Figura 30-A, B., por lo tanto se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ). Mientras que para el contenido de fibra cruda existió influencia significativa de la fruta (con y sin corteza) como se muestra en la Figura 30-C, por consiguiente se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ).



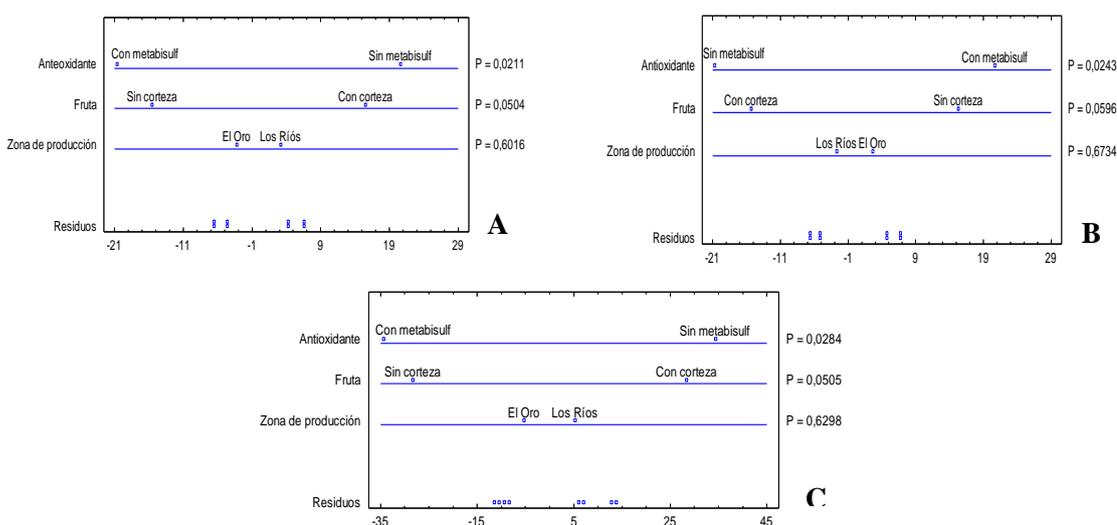
**Figura 30.** Gráficas de ANOVA de las propiedades químicas de la harina de banano A: Almidón, B: Amilosa y C: Fibra bruta

En la Figura 31 se presenta los gráficos de ANOVA, de las propiedades funcionales de la harina de banano, a un nivel de confianza del 95%, estableciéndose que la adición de la corteza influye significativamente en la capacidad de retención de agua ( $p=0,0362$ ), poder de hinchamiento ( $p=0,0019$ ) y solubilidad ( $p=0,0012$ ) de la harina de banano, rechazándose la hipótesis nula ( $H_0$ ). Mientras que la zona de producción y la adición de metabisulfito de sodio (antioxidante) no influyen ( $p>0,05$ ) en las propiedades funcionales de la harina, por lo tanto se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) con respecto a estos dos factores de estudio.



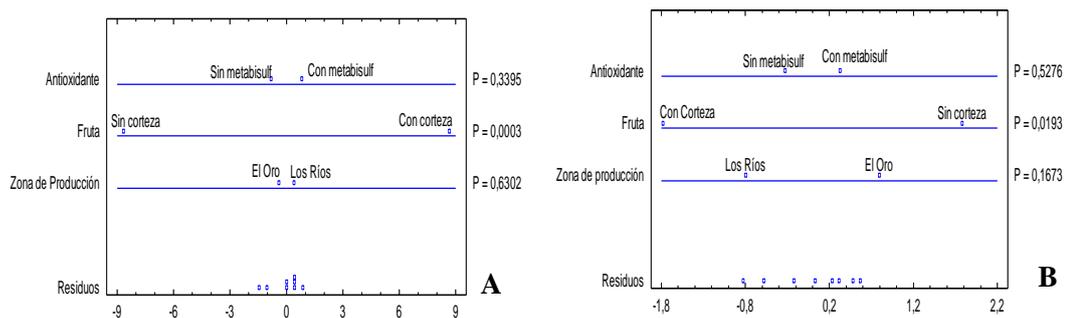
**Figura 31.** Propiedades funcionales de las películas biodegradables: A: Capacidad de retención de agua B: Poder de hinchamiento C: Solubilidad

Dentro del análisis estadístico ( $\alpha=0,05$ ) de las propiedades ópticas de las películas biodegradables como: diferencial de color ( $\Delta E$ ), índice de blancura (IB) e índice de amarillez (IA) se estableció que el uso de metabisulfito de sodio influye significativamente ( $p<0,05$ ) en estos parámetros de color como se observa en la Figura 32-A, B, C; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula. Por el contrario, la zona de producción y la fruta no influyen en el color de las muestras ( $p>0,05$ ), aceptándose la hipótesis nula ( $H_0$ ).



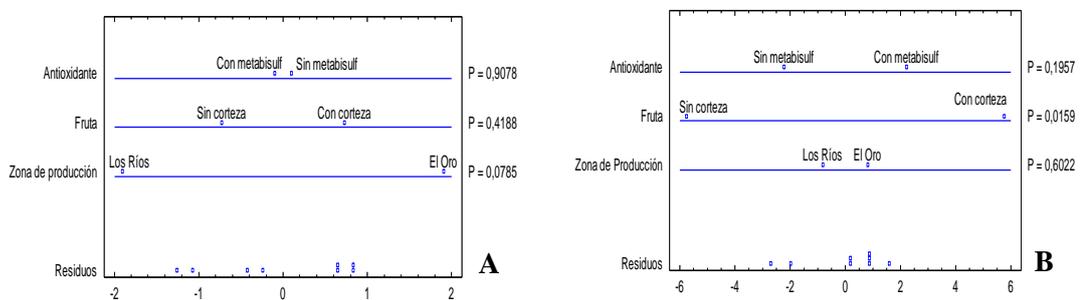
**Figura 32.** Propiedades ópticas de las películas biodegradables: A: Diferencial de color; B: Índice de blancura C: Índice de amarillez

El análisis estadístico ( $\alpha=0,05$ ) de las propiedades mecánicas, estableció que la adición de la corteza de banano en la elaboración de harina influye significativamente ( $p<0,05$ ) en la fuerza de punción (Fig. 33-A) y la distancia de punción (Fig. 33-B) de las películas biodegradables, rechazando la hipótesis nula ( $H_0$ ). Dentro de las propiedades ópticas no se evidenció un efecto significativo ( $p>0,05$ ) de la zona de producción y la adición de metabisulfito de sodio, aceptándose la hipótesis alternativa ( $H_a$ ).



**Figura 33.** Gráficas de ANOVA de las propiedades mecánicas de las películas biodegradables: A: Dureza y B: Deformación

En base a los resultados del análisis de varianza ( $\alpha=0,95$ ), se determinó que la permeabilidad al vapor de agua (PVA; Fig. 34-A) no presenta una influencia significativa ( $p>0,05$ ) de la zona de producción, la adición de corteza y el uso de antioxidante, por lo cual se acepta la hipótesis nula. A diferencia de la solubilidad (Fig. 34-B), que presenta una influencia significativa ( $p>0,05$ ) del uso de corteza de banano en la elaboración de harina, rechazándose la hipótesis nula



**Figura 34.** Gráficas de ANOVA de las propiedades de barrera de las películas biodegradables: A: Permeabilidad al vapor de agua y B: Solubilidad.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- La zona de producción no afectó significativamente las propiedades químicas y funcionales de la harina de banano. Por lo tanto el desarrollo de películas biodegradables se puede realizar con fruta de rechazo de cualquiera de las zonas analizadas. Por el contrario, el uso de metabisulfito de sodio y la corteza del banano influyeron significativamente en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la harina de banano, al igual que en las propiedades ópticas, mecánicas y de barrera de las películas biodegradables. Los tratamientos recomendados para la elaboración de películas biodegradables fueron OCS y OCC, los cuales presentaron altos porcentajes de almidón (72,48 y 76,21%); amilosa (13,29 y 15,22%), fibra cruda (3,50 y 3,18%), aportándole una buena fuerza de punción (24,60 y 25,47 N), elasticidad (12,52 y 12,68 mm), alta permeabilidad al vapor de agua ( $5,71 \times 10^{-10}$  y  $6,89 \times 10^{-10} \text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$ ) y alta solubilidad (54,19 y 60,02%). La harina de banano de rechazo obtenida, podría ser utilizada como sustituto parcial de la harina de trigo en la elaboración de pan, snack, empanadas entre otros, al igual que en la elaboración de películas biodegradables las mismas que pueden ser usadas en procesos de encapsulación por su alta solubilidad.
- Ecuador es uno de los principales países productores y exportadores de banano en el mundo, siendo los Ríos y el Oro las Provincias de mayor participación en la producción de esta fruta en el litoral ecuatoriano. Mediante un listado de productores y exportadores (Anexo 1) de banano en Ecuador, se escogió 5 haciendas; 3 para la Provincia de Los Ríos (Valencia) con una altitud entre 114-123msnm y 2 para El Oro (Pasaje, Santa Rosa), con una altitud entre 21-26 msnm.

- La evaluación del efecto de zona de producción en las características fisicoquímicas de la fruta permitió establecer que el banano (*Musa acuminata* AAA) de rechazo cultivar Cavendish no presenta variación en sus características por su lugar de procedencia. El peso promedio fue de 190,13 y 173,62 g, la longitud de 25,38 y 26,12cm, el contenido de sólidos solubles fue de 1,24 (°Brix), el pH de 5,67 y la acidez 0,12%.
- El almidón de banano (*Musa acuminata* AAA) se aisló a partir de la pulpa de la fruta de descarte, obteniéndose un rendimiento en base húmeda de 4,73% para muestras de la provincia de Los Ríos y 6,70% para muestras de El Oro. En base seca se obtuvieron rendimientos de 15,93 (Los Ríos) y 22,57% (El Oro) con respecto al peso de la pulpa. El tamaño del granulo de almidón de las muestras estuvo entre 26,26 y 28,08 µm para muestras de Los Ríos y El Oro.
- Los ocho tratamientos de harina desarrollados presentaron diferencias significativas en sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, las cuales no se vieron afectadas por la zona de producción. Las propiedades físicas se vieron afectadas por el uso de metabisulfito de sodio en las harinas influyendo en su índice de blancura y el color. La inclusión de la corteza de banano en la elaboración de harina influyó en las propiedades químicas, principalmente presentando mayor contenido de fibra. Las propiedades funcionales de la harina se vieron afectadas por la composición química de la muestra obteniendo mayor CRA, poder de hinchamiento y solubilidad en las harinas con alto contenido de fibra.
- En las propiedades ópticas se obtuvieron mayores índices de blancura para las películas de harina con agente antioxidante, con un promedio de 77,72 (con metabisulfito) y 57,05 (sin metabisulfito). Para el índice de amarillez se obtuvo un rango de 11,66 a 81,06, y para el diferencial de color de 9,75 a 49,17. Las propiedades mecánicas de las películas biodegradables, como fuerza de punción, presentaron valores entre 15,32 y 25,97 N (donde el contenido de fibra influyó aumentando este parámetro), y la distancia de punción presentó valores en un rango de 10,42 a 13,60mm. Para las propiedades de barrera como

la permeabilidad al vapor de agua, se obtuvieron valores entre 3,16 y 6,89 x10<sup>-10</sup> g·m<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>·Pa<sup>-1</sup>, y los valores de solubilidad estuvieron en un rango de 50,53 a 60,02 %.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Ecuador es uno de los principales países productores y exportadores de banano, el cual debe cumplir con rigurosas normas de exportación lo que conlleva a obtener un alto porcentaje de banano de rechazo el cual no es aprovechado en el país, por lo cual se recomienda el aprovechamiento de esta materia prima subutilizada, para la elaboración de películas biodegradables, contribuyendo a disminuir la contaminación ambiental, y obteniendo un producto con valor agregado.
- Las películas base recomendadas para estudios posteriores presentaron una alta solubilidad por lo que se recomienda el uso de aceites esenciales en los tratamientos obtenidos para mejorar las propiedades mecánicas y de barrera de las películas biodegradables, sobre todo disminuir su solubilidad.
- Se recomienda continuar con el estudio de la elaboración de películas biodegradables, para mejorar sus propiedades ópticas mecánicas y de barrera, para que en un futuro las mismas puedan reemplazar los plásticos sintéticos que contaminan el medio ambiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 6.1. BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, A., Saifullah, b. R., Yeoh, S. Y., y Azhar, M. E. (2011). Comparing physicochemical properties of banana pulp and peel flours prepared from green and ripe fruits. *Food Chemistry*, 129 312–318.
- Afanador, A., María. (2005). El banano verde de rechazo en la producción de alcohol carburante. *Revista EIA*, 2(3), 51-68.
- Andes, L. (2014). Uso de bolsas plásticas en el Ecuador, 23 Julio. .
- Aparicio, T. (2000). Comportamiento fisicoquímico y reológico de los almidones nativos y modificados de yuca (*Manihot esculenta*), camote (*Ipomoea batata* (L) AM), plátano enano (*Musa Cavendish*).
- Arancibia, M. (2014). *Recubrimientos activos procedentes de recursos infrautilizados y residuos de la industria para su aplicación en agroalimentación*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid -España.
- Bezerra, C. V., Amante, E. R., Oliveira, D. C. d., Rodrigues, A. M. C., y Silva, L. H. M. d. (2013). Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed – Effect of drying on physico-chemical, functional and morphological characteristics of the starch. *Industrial Crops and Products*, 41, 241- 249.
- Blanco, N., Fernandez, M., y Montero, P. (2014). Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) myofibrillar protein concentrate for edible packaging films and storage stability. *LWT-Food Science and Technology*, 55(2), 543-550.
- Bryant, C. M., y Hamaker, B. R. (1997). Effect of lime on gelatinization of corn flour and starch. *Cereal Chemistry*, 74(2), 171-175.
- Butler B. (2002). polymeric oxygen scavenging system. World Pack . Improving the quality of life through packaging innovation. Proceedings of the 13th IAPRI conference on packaging. East Lansing Michigan.
- Colima, G. d. E. d. (2005). *Paquete tecnológico para el cultivo del plátano INIFAP*.
- Cordova, A. (2005). *Caracterización de las propiedades relacionadas con la textura de suspensiones de fibras alimentarias* (Doctoral), Universidad Politecnica de Valencia.
- Crosbie, G. (1991). The relationship between starch swelling properties, paste viscosity and boiled noodle quality in wheat flours. *Journal of Cereal Science*, 13(2), 145-150.
- Chau, C.-F., Huang, Y.-L., y Lee, M.-H. (2003). In vitro hypoglycemic effects of different insoluble fiber-rich fractions prepared from the peel of *Citrus sinensis*

- L. cv. Liucheng. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(22), 6623-6626.
- Dadzie, B. K., y Orchard, J. E. (1997). *Evaluación rutinaria postcosecha de híbridos de bananos y plátanos: criterios y métodos*: Bioversity International.
- Dias, A. B., Müller, C. M., Larotonda, F. D., y Laurindo, J. B. (2010). Biodegradable films based on rice starch and rice flour. *Journal of Cereal Science*, 51(2), 213-219.
- Dzudie, T., y Hardy, J. (1996). Physicochemical and functional properties of flours prepared from common beans and green mung beans. *J. Agric. Food Chem*, 44, 3029-3032.
- ESPAC. (2013). *Banano a nivel Nacional* Retrieved from [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac%202013/InformeEjecutivoESPA C2013.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac%202013/InformeEjecutivoESPA C2013.pdf).
- Espinosa, C., y Quishpe, M. (2013). *Manual tecnología de cereales y leguminosas*.
- Flores , E., Garcia, F. J., Flores, E., Núñez, M. C., González, R. A., y Bello, L. A. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *Acta Cient. Venez*, 55, 86-90.
- Garcia, J. A. L., y Calixto, F. S. (2000). Evaluation of CIE-lab parameter during the clarification of a sugar syrup from Mesquite pods (*Prosopis Pallida* L.). *International Journal of Food Science and Technology* 35, 385-389.
- García , Y. V., Baruk, Z. P., Bello, L. A., Romero, C. A., y Solorza, F. J. (2011). Oxidación del almidón nativo de plátano para su uso potencial en la fabricación de materiales de empaque biodegradables: caracterización física, química, térmica y morfológica. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 12(3).
- Gascón, A., Muravnick, N., y Andreuccetti, C. (2013). *Desecacion y Deshidratacion de Vegetales*. Industrias Agrarias, (5). Chacras de Coria -Mendoza.
- Gil, M. A., Vélez, L. M., Millán, L. d. J., Acosta, M. A., Díez, A. C., Taborda, N. C., Rocha, L. A., y Villa, G. C. (2011). Desarrollo de un producto de panadería con alto valor nutricional a partir de la harina obtenida del banano verde con cáscara: una nueva opción para el aprovechamiento de residuos de la industria de exportación. *Producción + Limpia*, 6 (1 ), 96•107.
- Gonzabay, R. (2014). *Cultivo del Banano en el Ecuador*. Retrieved from <http://www.afese.com/img/revistas/revista58/cultivobanano.pdf>.
- Harper, B. A., Barbut, S., Smith, A., y Marcone, M. F. (2015). Mechanical and Microstructural Properties of “Wet” Alginate and Composite Films Containing Various Carbohydrates. *Journal of food science*, 80(1), E84-E92.

- Ho, L. H., Aziz, N. A. A., y Azahari, B. (2013. ). Physicochemical characteristics and sensory evaluation of wheat bread partially substituted with banana (*Musa acuminata X balbisiana* cv. Awak) Pseudo-stem flour. *Food Chemistry* 139, 532-539.
- INEN. (1980). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0517. Harinas de origen vegetal determinación del tamaño de las partículas: Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización
- Jimenez, E. (2012). *Elaboración de harina de 3 variedades de plátano verde (musa spp) y su uso como materia prima para la planificación*. (Tesis de Maestría), Colegio de Postgraduados.
- Jirukkakul. (2016). The study of edible film production from unripened banana flour and riped banana puree. *International Food Research Journal*, 23(1).
- Karlsson, S., y Albertsson, A. c. (1998). Biodegradable polymers and environmental interaction. *Polymer Engineering & Science*, 38(8), 1251-1253.
- Lafargue, D., Lourdin, D., y Doublier, J. L. (2007). Film-forming properties of a modified starch/(j-carrageenan mixture in relation to its rheological behaviour. *Carbohydrate Polymers*, 70(1), 101-111.
- Lazaridou, A., y Biliaderis, C. (2002). Thermophysical properties of chitosan. Chitosan-starch and chitosan-pullulan films near the glass transition. *Carbohydrate Polymers*, 48, , 179 –190.
- López, M., Jairo, Quintero, C., Víctor, y Lucas, A., Juan (2014). Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (*Musa acuminata* AAA). *Agronómica*. , 64(1), 11-21.
- Madrigal, A., Alanís, G., Justo, B., García, D., Vázquez, G., Rodríguez, P., y Moreno, R. (2008). Producción y Caracterización Físico-química de Harinas de Bananos FHIA-17 FHIA-23 y Plátano FHIA-20, para su incorporación en panificación <http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2008/ee-08-2008/.../A048.pdf>
- Mali, S. G., M., García, M., Martino, M., y Zaritzky, N. (2002). Microstructural characterization of yam starch films. *Carbohydrate Polymers*, 50, 379–386.
- Mendoza, I. (2012). *Caraterización de soluciones formadoras de películas con harina y almidon de cebada* (Postgrado Proyecto de titulación previo a la obtención de Máster en ciencias en desarrollo de productos bióticos), Instituto Politécnico Nacional, Morelos, México.
- Meneses, M. M., Agatón, L. L., Mejía , L. F., Enith, G. L., y Diego, B. J. (2010). Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de caldas. *Educación en Ingeniería*, 9, 128-139.

- Miguel, M. M., Angela, A. G., y Mario, M. M. (2008). Obtención de almidón a partir de residuos poscosecha del plátano dominico hartón (MUSA AAB SIMMONDS). *Vector*, 3, 57 - 69.
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y Analisis de Experimentos* (Segunda ed.). Mexico.
- Moreno Toasa, G. A. (2015). Utilización de harina de plátano (musa balbisiana), en el desarrollo de películas biodegradables activas.
- Pacheco-Delahaye, E., Maldonado, R., Pérez, E., y Schroeder, M. (2008). Production and characterization of unripe plantain (*Musa paradisiaca* L.) flours. *Interciencia*, 33(4), 290.
- Pelissari, F. M., Andrade, M. M., Sobral, P. J. A., y Menegalli, F. C. (2013). Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *Food Hydrocolloids* 30 681-690.
- Pérez, L., Palacios, G., y Castro, B. (2010). Cuad Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes., 29- 37.
- Ríos, K. L. R. (2014). *Análisis comparativo de las propiedades físico-químicas y nutrimentales de almidón obtenido a partir de dos especies de malanga (colocasia antiquorum y colocasia esculenta) cultivadas en el estado de oaxaca.* (Tesis Pregrado), Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapán de León, Oaxaca.
- Rivas, M. (2012). *Almidón acetilado de plátano: Caracterización Físicoquímica y Molecular.* (Doctorado), Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro.
- Rodríguez, M., María (2013). *Películas de arroz y platano reforzadas con nanopartículas montmorillonita de sodio: Caracterización fisicoquímica, funcional y molecular* (Doctor Doctorado en Ciencias en desarrollo de productos bióticos ), Instituto Politécnico Nacional.
- Rodríguez Marín, M. L. (2015). Películas de harinas de arroz y plátano reforzadas con nanopartículas de montmorillonita de sodio: caracterización fisicoquímica, funcional y molecular.
- Saltos, H., Anibal. (2010). *Sensometria. Analisis en el Desarrollo de Alimentos Procesados.* Ambato-Ecuador.
- Sobral, P., Menegalli, F., Hubinger, M., y Riques, M. (2001). Mechanical, water vapor barrier and thermal properties of gelatin based edible films. *Food hydrocolloids*, 15(4), 423-432.
- Solórzano, S., y Ramirez, C. (2012). *Banano rechazado para exportación en Ecuador. Propuesta de creación de valor para lograr su introducción en el mercado internacional.* (Tesis previo a la obtención del Título de "Magister en Administración de Empresas"), Universidad Politécnica Salesiana.

- Sothornvit, R., y Krochta, J. (2005). *Plasticizers in edible films and coatings*. En: *Innovations in food packagings*, Han, J.H. (ed). . Amsterdam, The Netherlands, Elsevier.
- Soto. (2010). Cuantificación de almidón total y de almidón resistente en harina de plátano verde (*Musa Cavendishii*) y banana verde (*Musa Paradisiaca*). *Revista Boliviana de Química*, 27(2).
- Soto, M. (1985). *Banano Cultivo y comercialización*. (Segunda ed.). Lil S.A. San José: Costa Rica
- Villada, H., Acosta, H. A., y Velasco1, R. J. (2008). Investigación de Almidones Termoplásticos, Precursores de Productos Biodegradables. *Información Tecnológica*, 19(2), 3-14.
- Wang, Y., Zhang, M., y Mujumdar, A. S. (2012). Influence of green banana flour substitution for cassava starch on the nutrition, color, texture and sensory quality in two types of snacks. *LWT. Food Science and Technology*, 47, 175-182.
- Yanchapaxi, M., y Maribel, E. (2014). *Caracterización de películas, elaboradas a partir de harina de quinua (*Chenopodium quinoa*, Willd), almidón modificado de yuca (*Manihot esculenta*) y montmorillonita*. Quito, 2014.
- Zamudio, B., Vargas, A., Gutiérrez, F., y Bello, L. A. (2010). Caracterización fisicoquímica de almidones doblemente modificados de plátano. *Agrociencia*, 44, 283-295.
- Zhang, Y., y Han, J. (2006). Mechanical and thermal characteristics of pea starch films plasticized with monosaccharides and polyols. *Journal of Food Science*, 70, 109-118.

# **ANEXOS**

## ANEXO 1. LISTA DE PRODUCTORES Y EXPORTADORES DE BANANO EN EL ECUADOR

| RUC / Cédula  | Apellidos / Nombre Productor                                   | Provincia | Cantón     | Teléfono                    | Celular     | Correo                         |
|---------------|--|-----------|------------|-----------------------------|-------------|--------------------------------|
| 0992529849001 | AGRAIND S.A.   | Los Ríos  | Pueblviejo | 042136155                   | 0994016926  | agraind@hotmail.com            |
|               | GRUPO VILLACRES  | Los Ríos  | Valencia   |                             | 09986392570 |                                |
| 0992538503001 | AGROVICTORIA S.A.  | Los Ríos  | Pueblviejo |                             | 0994111717  |                                |
|               | BAUTISTA   | Los Ríos  | Valencia   |                             | 0969977075  |                                |
| 0991144900001 | BANALCAR S.A. BANALCARSA                                       | Los Ríos  | Baba       | 042136170                   | 0997875008  | jberrezueta@banalcar.com       |
| 1291740118001 | COGUIN S.A   | Los Ríos  | Baba       | 052790438                   |             | barito2005@hotmail.com         |
| 0992444592001 | FRUTSESA FRUTAS SELECTAS S.A.                                  | Los Ríos  | Mocache    | 3710225                     | 0986435597  | cquirola@bqabogados.com.ec     |
|               | ROQUE SANTEIRO CIA. LTDA.                                      | Los Ríos  | Valencia   |                             | 0969912272  | Caramelo2422@hotmail.com       |
| 0992228652001 | TROPICALAGRO S.A.  | Los Ríos  | Valencia   | 042297497                   | 0988358545  |                                |
| 0791756383001 | ANDAGRI S.A.   | El Oro    | Machala    | 72985232                    | 72985224    | andagris@gmail.com             |
| 0791731771001 | COMPañIA IMPORTADORA Y EXPORTADORA GRUPEXCONSUR S A            | El Oro    | Pasaje     | 72916765                    | 984371878   | emilioguzman14@hotmail.com     |
| 0791746671001 | COOPERATIVA MUSSAEXPORT S.A.                                   | El Oro    | Machala    | 072961660-094981145         | 994981145   | eduardomorochol846@hotmail.com |
| 0791717167001 | CORPORACION DE PRODUCTORES AGROECOLOGICOS SAN MIGUEL DE BRASIL | El Oro    | Machala    | 072-992795                  | 97687007    | sanmbrasil@yahoo.com           |
| 0992552743001 | DIALINSPEC S A   | El Oro    | Machala    | 72931176                    | 999341129   | ialinspec@yahoo.com            |
| 0790021932001 | EXPORTADORA MACHALA CIA LTDA                                   | El Oro    | Machala    | 90995410                    | 990995410   |                                |
| 0791725666001 | GRUBAFAL S A   | El Oro    | Machala    | 72932148                    | 986662345   | daliacruzma@hotmail.com        |
| 0790049055001 | HACIENDA CELIA MARIA C.A.                                      | El Oro    | Pasaje     | 72831260                    |             |                                |
|               | LA PLAYA   | El Oro    | Santa Rosa | 2933325                     |             | exprobiologico@hotmail.com     |
| 0791741696001 | MAYTUZAM CIA. LTDA.  | El Oro    | Machala    | 72984212                    | 997281894   | ecalzambrobob@gmail.com        |
| 0790151372001 | TECNIAGREX S A   | El Oro    | Machala    | 72933726                    | 992469463   | tecniagrex@gmail.com           |
| 0791727022001 | TRABOAR S A  | El Oro    | Machala    |                             |             |                                |
| 0992328452001 | UNION REGIONAL DE ORGANIZACIONES CAMPESINAS DEL LITORAL-UROCAL | El Oro    | Machala    | 075000201-50002020991853128 | 993600792   | exportacion@urocal.org         |
|               | ZAPANADO EL MACAO  | El Oro    | Pasaje     |                             | 0985248948  | Tahnee1984@hotmail.com         |

## ANEXO.2. FORMATO DE ENCUESTA REALIZADO A LAS HACIENDAS PRODUCTORAS DE BANANO



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERIA EN ALIMENTOS**  
**CARRERA DE INGENIERIA EN ALIMENTOS**



Finca/ Hacienda productora: .....

Provincia: .....

Ubicación/ Dirección: .....

Teléfono:.....E – mail .....

Coordenadas del sistema de posicionamiento global (GPS)

|          |         |         |
|----------|---------|---------|
| Longitud | Latitud | Altitud |
|----------|---------|---------|

17M0683073

GPS (código)

Superficie cosechada

.....

Variedades de banano que producen

1) ..... 2)..... 3).....

Volumen de producción de banano (Ton)

| Mes 1 | Mes 2 | Mes 3 | Mes 4 | Mes 5 | Mes 6 | Promedio |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
|       |       |       |       |       |       |          |

Volumen de rechazo de banano (Ton)

| Mes 1 | Mes 2 | Mes 3 | Mes 4 | Mes 5 | Mes 6 | Promedio |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
|       |       |       |       |       |       |          |

Principales defectos para el rechazo de la fruta de exportación

1)..... 2)..... 3).....

Observaciones

.....  
 .....  
 .....

MUCHAS GRACIAS

### ANEXO 3. ANOVAS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS Y FUNCIONALES DE LA HARINA DE BANANO

**Tabla 21.** Análisis de varianza para tono (°Hue) - Suma de Cuadrados Tipo III

| <i>Fuente</i>        | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| EFFECTOS PRINCIPALES |                          |           |                       |                |                |
| A:Zona de producción | 3758,01                  | 1         | 3758,01               | 0,97           | 0,3808         |
| B:Fruta              | 3738,1                   | 1         | 3738,1                | 0,96           | 0,3819         |
| C:Antioxidante       | 29254,2                  | 1         | 29254,2               | 7,54           | 0,0516         |
| RESIDUOS             | 15521,5                  | 4         | 3880,37               |                |                |
| TOTAL (CORREGIDO)    | 52271,8                  | 7         |                       |                |                |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 22.** Análisis de varianza para cromaticidad - Suma de Cuadrados Tipo III

| <i>Fuente</i>        | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| EFFECTOS PRINCIPALES |                          |           |                       |                |                |
| A:Zona de Producción | 9,48301                  | 1         | 9,48301               | 12,73          | 0,0234         |
| B:Fruta              | 4,54511                  | 1         | 4,54511               | 6,10           | 0,0689         |
| C:Antioxidante       | 0,0861125                | 1         | 0,0861125             | 0,12           | 0,7510         |
| RESIDUOS             | 2,97965                  | 4         | 0,744912              |                |                |
| TOTAL (CORREGIDO)    | 17,0939                  | 7         |                       |                |                |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 23 .** Análisis de varianza para índice de blancura IB - Suma de Cuadrados Tipo III

| <i>Fuente</i>        | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| EFFECTOS PRINCIPALES |                          |           |                       |                |                |
| A:Zona de producción | 3,56445                  | 1         | 3,56445               | 0,21           | 0,6710         |
| B:Fruta              | 29,0322                  | 1         | 29,0322               | 1,71           | 0,2616         |
| C:Antioxidante       | 239,148                  | 1         | 239,148               | 14,05          | 0,0200         |
| RESIDUOS             | 68,093                   | 4         | 17,0233               |                |                |
| TOTAL (CORREGIDO)    | 339,838                  | 7         |                       |                |                |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 24.** Análisis de varianza para almidón - Suma de Cuadrados Tipo III

| <i>Fuente</i>        | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| EFFECTOS PRINCIPALES |                          |           |                       |                |                |
| A:Zona de producción | 21,7141                  | 1         | 21,7141               | 1,34           | 0,3120         |
| B:Fruta              | 7,80125                  | 1         | 7,80125               | 0,48           | 0,5265         |
| C:Antioxidante       | 9,245                    | 1         | 9,245                 | 0,57           | 0,4926         |
| RESIDUOS             | 64,9829                  | 4         | 16,2457               |                |                |
| TOTAL (CORREGIDO)    | 103,743                  | 7         |                       |                |                |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 25.** Análisis de varianza para amilosa - Suma de Cuadrados Tipo III

| <i>Fuente</i>        | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| EFFECTOS PRINCIPALES |                          |           |                       |                |                |
| A:Zona de producción | 3,0258                   | 1         | 3,0258                | 1,26           | 0,3249         |
| B:Fruta              | 2,9768                   | 1         | 2,9768                | 1,24           | 0,3283         |
| C:Antioxidante       | 1,36125                  | 1         | 1,36125               | 0,57           | 0,4938         |
| RESIDUOS             | 9,6231                   | 4         | 2,40578               |                |                |
| TOTAL (CORREGIDO)    | 16,987                   | 7         |                       |                |                |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 26.** Análisis de varianza para fibra bruta - Suma de Cuadrados Tipo III

| <i>Fuente</i>        | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| EFFECTOS PRINCIPALES |                          |           |                       |                |                |
| A:Zona de producción | 1,5488                   | 1         | 1,5488                | 4,45           | 0,1025         |
| B:Fruta              | 3,30245                  | 1         | 3,30245               | 9,49           | 0,0369         |
| C:Antioxidante       | 0,43245                  | 1         | 0,43245               | 1,24           | 0,3273         |
| RESIDUOS             | 1,39145                  | 4         | 0,347862              |                |                |
| TOTAL (CORREGIDO)    | 6,67515                  | 7         |                       |                |                |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 27.** Análisis de varianza para capacidad de retención de agua (CRA) - Suma de Cuadrados Tipo III

| <i>Fuente</i>        | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| EFFECTOS PRINCIPALES |                          |           |                       |                |                |
| A:Zona de producción | 0,06845                  | 1         | 0,06845               | 1,59           | 0,2759         |
| B:Fruta              | 0,41405                  | 1         | 0,41405               | 9,62           | 0,0362         |
| C:Antioxidante       | 0,1352                   | 1         | 0,1352                | 3,14           | 0,1511         |
| RESIDUOS             | 0,17225                  | 4         | 0,0430625             |                |                |
| TOTAL (CORREGIDO)    | 0,78995                  | 7         |                       |                |                |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 28.** Análisis de varianza para poder de hinchamiento (PH) - Suma de Cuadrados Tipo III

| <i>Fuente</i>        | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| EFFECTOS PRINCIPALES |                          |           |                       |                |                |
| A:Zona de producción | 0,0325125                | 1         | 0,0325125             | 6,45           | 0,0639         |
| B:Fruta              | 0,270113                 | 1         | 0,270113              | 53,62          | 0,0019         |
| C:Antioxidante       | 0,0136125                | 1         | 0,0136125             | 2,70           | 0,1756         |
| RESIDUOS             | 0,02015                  | 4         | 0,0050375             |                |                |
| TOTAL (CORREGIDO)    | 0,336388                 | 7         |                       |                |                |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 29.** Análisis de varianza para solubilidad (SOL) - Suma de Cuadrados Tipo III

| <i>Fuente</i>        | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| EFFECTOS PRINCIPALES |                          |           |                       |                |                |
| A:Zona de producción | 0,01805                  | 1         | 0,01805               | 1,81           | 0,2498         |
| B:Fruta              | 0,6728                   | 1         | 0,6728                | 67,45          | 0,0012         |
| C:Antioxidante       | 0,04205                  | 1         | 0,04205               | 4,22           | 0,1093         |
| RESIDUOS             | 0,0399                   | 4         | 0,009975              |                |                |
| TOTAL (CORREGIDO)    | 0,7728                   | 7         |                       |                |                |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**ANEXO 4. ANOVAS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS MECANICAS Y DE BARRERA DE LAS PELÍCULAS BIODEGRADABLES**

**Tabla 30.** Análisis de varianza para diferencial de color - Suma de Cuadrados Tipo III

| <i>Fuente</i>        | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| EFFECTOS PRINCIPALES |                          |           |                       |                |                |
| A:Zona de producción | 20,0978                  | 1         | 20,0978               | 0,32           | 0,6016         |
| B:Fruta              | 480,81                   | 1         | 480,81                | 7,67           | 0,0504         |
| C:Antioxidante       | 850,781                  | 1         | 850,781               | 13,57          | 0,0211         |
| RESIDUOS             | 250,862                  | 4         | 62,7156               |                |                |
| TOTAL (CORREGIDO)    | 1602,55                  | 7         |                       |                |                |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 31.** Análisis de varianza para índice de amarillez - Suma de Cuadrados Tipo III

| <i>Fuente</i>        | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| EFFECTOS PRINCIPALES |                          |           |                       |                |                |
| A:Zona de producción | 56,7645                  | 1         | 56,7645               | 0,27           | 0,6298         |
| B:Fruta              | 1600,93                  | 1         | 1600,93               | 7,66           | 0,0505         |
| C:Antioxidante       | 2355,38                  | 1         | 2355,38               | 11,27          | 0,0284         |
| RESIDUOS             | 836,091                  | 4         | 209,023               |                |                |
| TOTAL (CORREGIDO)    | 4849,17                  | 7         |                       |                |                |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 32.** Análisis de varianza para índice de blancura - Suma de Cuadrados Tipo III

| <i>Fuente</i>        | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| EFFECTOS PRINCIPALES |                          |           |                       |                |                |
| A:Zona de producción | 14,1512                  | 1         | 14,1512               | 0,21           | 0,6734         |
| B:Fruta              | 466,651                  | 1         | 466,651               | 6,80           | 0,0596         |
| C:Antioxidante       | 854,084                  | 1         | 854,084               | 12,44          | 0,0243         |
| RESIDUOS             | 274,674                  | 4         | 68,6684               |                |                |
| TOTAL (CORREGIDO)    | 1609,56                  | 7         |                       |                |                |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 33.** Análisis de varianza para fuerza de punción - Suma de Cuadrados Tipo III

| <i>Fuente</i>        | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| EFFECTOS PRINCIPALES |                          |           |                       |                |                |
| A:Zona de Producción | 0,316013                 | 1         | 0,316013              | 0,27           | 0,6302         |
| B:Fruta              | 149,732                  | 1         | 149,732               | 128,39         | 0,0003         |
| C:Antioxidante       | 1,36951                  | 1         | 1,36951               | 1,17           | 0,3395         |
| RESIDUOS             | 4,66495                  | 4         | 1,16624               |                |                |
| TOTAL (CORREGIDO)    | 156,082                  | 7         |                       |                |                |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 34.** Análisis de varianza para distancia de punción- Suma de Cuadrados Tipo III

| <i>Fuente</i>        | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| EFFECTOS PRINCIPALES |                          |           |                       |                |                |
| A:Zona de producción | 1,25611                  | 1         | 1,25611               | 2,84           | 0,1673         |
| B:Fruta              | 6,35461                  | 1         | 6,35461               | 14,36          | 0,0193         |
| C:Antioxidante       | 0,21125                  | 1         | 0,21125               | 0,48           | 0,5276         |
| RESIDUOS             | 1,77026                  | 4         | 0,442566              |                |                |
| TOTAL (CORREGIDO)    | 9,59224                  | 7         |                       |                |                |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 35.** Análisis de varianza para solubilidad - Suma de Cuadrados Tipo III

| <i>Fuente</i>        | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| EFFECTOS PRINCIPALES |                          |           |                       |                |                |
| A:Zona de Producción | 1,30411                  | 1         | 1,30411               | 0,32           | 0,6022         |
| B:Fruta              | 65,9526                  | 1         | 65,9526               | 16,15          | 0,0159         |
| C:Antioxidante       | 9,83461                  | 1         | 9,83461               | 2,41           | 0,1957         |
| RESIDUOS             | 16,3364                  | 4         | 4,08409               |                |                |
| TOTAL (CORREGIDO)    | 93,4277                  | 7         |                       |                |                |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 36.** Análisis de varianza para Permeabilidad (PVA) - Suma de Cuadrados Tipo III

| <i>Fuente</i>        | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| EFFECTOS PRINCIPALES |                          |           |                       |                |                |
| A:Zona de producción | 7,25805                  | 1         | 7,25805               | 5,52           | 0,0785         |
| B:Fruta              | 1,0658                   | 1         | 1,0658                | 0,81           | 0,4188         |
| C:Antioxidante       | 0,02                     | 1         | 0,02                  | 0,02           | 0,9078         |
| RESIDUOS             | 5,25775                  | 4         | 1,31444               |                |                |
| TOTAL (CORREGIDO)    | 13,6016                  | 7         |                       |                |                |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual