

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS**  
**INDUSTRIALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS**  
**ALIMENTARIAS**



**“CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, TÉRMICAS**  
**Y REOLÓGICAS DE ALMIDONES NATIVOS Y MODIFICADOS DE**  
**PAPA (*Solanum tuberosum*) Y CHUÑO PARA SU USO**  
**EN RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES”**

**Brayyan Arnaldo Calizaya Pari**  
**Yessica Huaman Choque**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE**  
**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Asesora: D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca**  
**Co-asesor: D.Sc. Augusto Pumacahua Ramos**

**Juliaca, 2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS**  
**INDUSTRIALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN**  
**INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, TÉRMICAS**  
**Y REOLÓGICAS DE ALMIDONES NATIVOS Y MODIFICADOS DE**  
**PAPA (*Solanum tuberosum*) Y CHUÑO PARA SU USO**  
**EN RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES”**

Brayyan Arnaldo Calizaya Pari

Yessica Huaman Choque

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE**  
**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Asesora: D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca

Co-Asesor: D.Sc. Augusto Pumacahua Ramos

Juliaca, 2024

## FICHA CATALOGRÁFICA

Calizaya B. y Huaman Y. (2024). *Caracterización de las propiedades fisicoquímicas, térmicas y reológicas de almidones nativos y modificados de papa (*Solanum tuberosum*) y chuño para su uso en recubrimientos comestibles*. [Tesis de pregrado en Ingeniería, Universidad Nacional de Juliaca]. Juliaca

**AUTORES:** Brayyan Arnaldo Calizaya Pari

Yessica Huaman Choque

**TÍTULO:** Caracterización de las propiedades fisicoquímicas, térmicas y reológicas de almidones nativos y modificados de papa (*Solanum tuberosum*) y chuño para su uso en recubrimientos comestibles.

**PUBLICACIÓN:** Juliaca, 2024

**DESCRIPCIÓN:** Cantidad de páginas (266 pp)

**NOTA:** Tesis Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias – Universidad Nacional de Juliaca.

**CÓDIGO:** 03-000036-03/C17

**NOTA:** Incluye bibliografía.

**ASESORA:** D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca

**CO-ASESOR:** D.Sc. Augusto Pumacahua Ramos

**PALABRAS CLAVE:** Chuño, almidón, propiedades fisicoquímicas, propiedades térmicas, propiedades reológicas, recubrimiento.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS**  
**ALIMENTARIAS**

**“CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, TÉRMICAS Y  
REOLÓGICAS DE ALMIDONES NATIVOS Y MODIFICADOS DE  
PAPA (*Solanum tuberosum*) Y CHUÑO PARA SU  
USO EN RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Presentada por:**

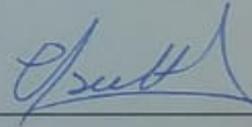
**Brayyan Arnaldo Calizaya Pari**

**Yessica Huaman Choque**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

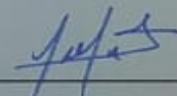
D.Sc. Elizabeth Huanatico Suarez

**PRESIDENTE DE JURADO**



M.Sc Jose Manuel Prieto

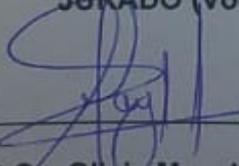
**JURADO (Secretario)**



**2° MIEMBRO**

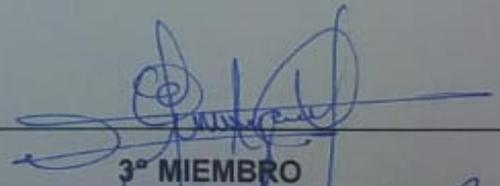
M.Sc Lenin Quille Quille

**JURADO (Vocal)**



D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca

**ASESOR DE TESIS**



**3° MIEMBRO**

D.Sc. Augusto Pumacahua Ramos

**CO-ASESOR DE TESIS**

# Brayyan Arnaldo Calizaya Pari y Yessica Huaman C...

## Caracterización de las propiedades fisicoquímicas, térmicas y reológicas de almidones nativos y modi

 Universidad Nacional de Juliaca

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:413073586

Fecha de entrega

5 dic 2024, 5:41 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

5 dic 2024, 5:45 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

TESIS\_BRAYYAN CALIZAYA PARI\_YESSICA HUAMAN QUISPE.pdf

Tamaño de archivo

5.7 MB

287 Páginas

71,183 Palabras

363,711 Caracteres

## 6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

### Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**  
480 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**  
4 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
Facultad de Ingeniería de Procesos Industriales  
Unidad de Investigación

## **DEDICATORIA**

A Dios por acompañarnos en toda nuestra etapa universitaria y ayudarnos a culminar nuestro proyecto de tesis.

A nuestros queridos padres, quienes nos dieron la oportunidad de poder estudiar en la Universidad Nacional de Juliaca, y durante toda nuestra etapa universitaria nos acompañaron y dieron fuerzas para seguir adelante. A nuestros hermanos quienes nos inspiraron para iniciar y poder culminar con nuestros proyectos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos expresar nuestro agradecimiento a la Universidad Nacional de Juliaca, por brindarnos educación de calidad durante nuestra etapa universitaria. A los docentes de la carrera profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, quienes fueron parte de nuestra formación académica y con sus conocimientos influyeron en la realización del presente proyecto de investigación.

A nuestros asesores D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca y D.Sc. Augusto Pumacahua Ramos, quienes fueron nuestros guías desde el inicio y término del proyecto de tesis.

A nuestros jurados, D.Sc. Elizabeth Huanatico Suarez, M.Sc. Jose Manuel Prieto y M.Sc. Lenin Quille Quille, quienes en nuestra etapa como estudiantes de la escuela profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias nos impartieron conocimientos de investigación científica y su apoyo para culminar el proyecto de tesis.

Al Lic. Victor Ernesto Achahui Ugarte, Ing. Yimy Hanco Cayllahua, Ing. Joel Coaquira Quispe, Ing. Pedro Mamani Ordoñez, Ing. José Manuel Prieto y al Ing. Edwin Chila Choque, quienes en todo el transcurso del proyecto de investigación nos facilitaron los laboratorios correspondientes para lograr concluir dicho proyecto.

## ÍNDICE GENERAL

|                         |      |
|-------------------------|------|
| DEDICATORIA .....       | iv   |
| AGRADECIMIENTOS .....   | v    |
| ÍNDICE GENERAL.....     | vi   |
| ÍNDICE DE TABLAS .....  | x    |
| ÍNDICE DE FIGURAS ..... | xi   |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....  | xv   |
| RESUMEN .....           | xxi  |
| ABSTRACT .....          | xxii |
| INTRODUCCIÓN .....      | 1    |

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... | 4 |
| 1.2. OBJETIVOS .....                  | 5 |
| 1.2.1. Objetivo general .....         | 5 |
| 1.2.2. Objetivos específicos .....    | 5 |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN.....               | 6 |

### CAPÍTULO II

#### REVISIÓN DE LITERATURA

|  |    |
|--|----|
| 2.1. ANTECEDENTES .....                    | 9  |
| 2.2. PAPAS NATIVAS .....                   | 10 |
| 2.2.1. Generalidades .....                 | 10 |
| 2.2.2. Composición química de la papa..... | 11 |
| 2.2.3. Clasificación taxonómica .....      | 11 |
| 2.2.4. Especies de papas nativas.....      | 12 |

|  |    |
|--|----|
| 2.2.5. Clasificación de papas nativas .....                    | 13 |
| 2.3. CHUÑO .....   | 14 |
| 2.3.1. Origen y definición .....                               | 14 |
| 2.3.2. Valor nutritivo .....                                   | 16 |
| 2.3.3. Calidad y tamaño .....                                  | 16 |
| 2.3.4. Proceso tecnológico del chuño .....                     | 17 |
| 2.4. ALMIDÓN DE PAPA .....                                     | 20 |
| 2.5. ALMIDÓN RESISTENTE.....                                   | 22 |
| 2.6. COMPOSICIÓN DEL ALMIDÓN .....                             | 23 |
| 2.6.1. Estructura química del almidón.....                     | 24 |
| 2.6.2. Propiedades fisicoquímicas del almidón .....            | 26 |
| 2.6.3. Propiedades térmicas del almidón .....                  | 30 |
| 2.6.4. Propiedades reológicas .....                            | 33 |
| 2.7. FRESA.....  | 36 |
| 2.7.1. Origen y clasificación taxonómica .....                 | 36 |
| 2.7.2. Descripción botánica .....                              | 37 |
| 2.7.3. Valor nutritivo .....                                   | 38 |
| 2.7.4. Especies y variedades .....                             | 38 |
| 2.7.5. Parámetros de calidad de las fresas .....               | 39 |
| 2.8. PROPIEDADES DE LOS RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES.....        | 44 |
| 2.8.1. Permeabilidad al vapor de agua.....                     | 44 |
| 2.8.2. Permeabilidad a los gases.....                          | 45 |
| 2.8.3. Aplicación de recubrimientos comestibles a frutas ..... | 46 |

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO ..... | 49 |
| 3.2. MUESTRA .....           | 50 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 3.3.   | MATERIALES Y EQUIPOS.....   | 51 |
| 3.4.   | METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....   | 54 |
| 3.4.1. | Objetivo 1: Comparar el rendimiento y la composición proximal de chuño a partir de las variedades de papa Locka e Imilla Negra.....                                 | 55 |
| 3.4.2. | Objetivo 2: Determinar el rendimiento de extracción de almidón nativo de papa y chuño.....  | 63 |
| 3.4.3. | Objetivo 3: Modificar almidones nativos de papa y chuño.....  | 68 |
| 3.4.4. | Objetivo 4: Caracterizar las propiedades fisicoquímicas, térmicas y reológicas de almidones nativos y modificados de papa y chuño ( <i>Solanum tuberosum</i> )..... | 72 |
| 3.4.5. | Objetivo 5: Elaborar un recubrimiento comestible con almidón nativo y modificado para usarlo en una matriz alimentaria.....   | 80 |
| 3.5.   | HIPÓTESIS .....   | 90 |

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 4.1.   | COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO Y LA COMPOSICIÓN PROXIMAL DE CHUÑO A PARTIR DE LAS VARIEDADES DE PAPA LOCKA E IMILLA NEGRA.....             | 91  |
| 4.1.1. | Composición proximal .....  | 94  |
| 4.1.2. | RENDIMIENTO TOTAL EN LA ELABORACIÓN DE CHUÑO .....  | 101 |
| 4.2.   | EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE LOS ALMIDONES NATIVOS DE PAPA Y CHUÑO. ....   | 103 |
| 4.2.1. | Rendimiento de la extracción del almidón .....  | 103 |
| 4.3.   | DETERMINACIÓN DE COLOR.....   | 105 |
| 4.3.1. | Determinación de color en almidones nativos y modificados .....   | 105 |
| 4.4.   | CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE ALMIDONES NATIVOS Y MODIFICADOS DE PAPA Y CHUÑO ( <i>Solanum tuberosum</i> ). .... | 112 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 4.5.   | CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS DE ALMIDONES NATIVOS Y MODIFICADOS DE PAPA Y CHUÑO ( <i>Solanum tuberosum</i> ). .....   | 126 |
| 4.6.   | CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE ALMIDONES NATIVOS Y MODIFICADOS DE PAPA Y CHUÑO ( <i>Solanum tuberosum</i> ). ..... | 134 |
| 4.6.1. | Comportamiento del flujo.....  | 135 |
| 4.7.   | ELABORACIÓN DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES CON ALMIDÓN NATIVO Y MODIFICADO.....   | 145 |
| 4.7.1. | Determinación de tasa de respiración de recubrimientos comestibles .....   | 145 |
| 4.7.2. | Determinación de permeabilidad al vapor de agua de recubrimientos comestibles .....  | 154 |
| 4.7.3. | Determinación de pérdida de peso, acidez, pH y °Brix de fresas con recubrimiento comestible. ....                                    | 157 |

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

|      |                                  |     |
|------|----------------------------------|-----|
| 5.1. | CONCLUSIONES.....                | 164 |
| 5.2. | RECOMENDACIONES .....            | 165 |
|      | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 166 |
|      | ANEXOS .....                     | 201 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| Tabla 1:  | Composición química de la papa. ....  | 11  |
| Tabla 2:  | Papas nativas dulces y amargas.....   | 13  |
| Tabla 3:  | Composición nutricional del chuño por 100 g.....  | 16  |
| Tabla 4:  | Calidad y tamaño del chuño.....   | 17  |
| Tabla 5:  | Composición de la fresa por 100 g de porción comestible. ....   | 38  |
| Tabla 6:  | Variedades de papas nativas utilizadas. ....  | 50  |
| Tabla 7:  | Matriz del diseño experimental completamente al azar.....   | 57  |
| Tabla 8:  | Matriz del diseño experimental.....   | 67  |
| Tabla 9:  | Matriz del diseño experimental.....   | 70  |
| Tabla 10: | Matriz del diseño experimental.....   | 73  |
| Tabla 11: | Composición de los recubrimientos comestibles formulados.....   | 84  |
| Tabla 12: | Matriz del diseño experimental.....   | 85  |
| Tabla 13: | Composición proximal de las muestras de papa y chuño.....   | 94  |
| Tabla 14: | Rendimiento total en la elaboración de chuño.....   | 101 |
| Tabla 15: | Porcentaje de rendimiento de los almidones. ....  | 103 |
| Tabla 16: | Análisis de color de almidones de nativos y modificados de papa y chuño. ....   | 107 |
| Tabla 17: | Color de almidones nativos y modificados de papa y chuño. ....  | 108 |
| Tabla 18: | Composición fisicoquímica de los almidones nativos y modificados de papa y chuño.....   | 115 |
| Tabla 19: | Parámetros de gelatinización de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....  | 128 |
| Tabla 20: | Parámetros de la ecuación de Herschel-Bulkley para el comportamiento del flujo de almidones nativos y modificados de papa y chuño. .... | 136 |
| Tabla 21: | Tasa de respiración de fresas con y sin recubrimiento. ....   | 145 |
| Tabla 22: | Permeabilidad al vapor de agua de recubrimientos comestibles.....   | 154 |
| Tabla 23: | Determinación de pérdida de peso, acidez, pH, °Brix de fresas con y sin recubrimiento en almacenamiento bajo refrigeración a 5°C.....   | 162 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Figura 1.  | Chuño para la venta.....   | 15 |
| Figura 2.  | Chuño .....  | 19 |
| Figura 3.  | Barrido de micrografías electrónicas (SEM) (a) protuberancia en almidón papa y (b) la superficie fragmentada de almidón de papa .....  | 21 |
| Figura 4.  | Estructura de la amilosa .....   | 24 |
| Figura 5.  | Estructura de la amilopectina .....  | 25 |
| Figura 6.  | Termograma de gránulos de almidón de papa .....  | 31 |
| Figura 7.  | Diseño experimental para la caracterización fisicoquímica, térmica y reológica de almidones nativos y modificados de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) y chuño para su uso en recubrimientos comestibles ..... | 54 |
| Figura 8.  | Diagrama de procesamiento para obtener chuño bajo condiciones controladas. ....  | 55 |
| Figura 9.  | Diseño experimental para el objetivo N°1. ....   | 57 |
| Figura 10. | Diagrama de procesamiento para la extracción de almidón.....   | 65 |
| Figura 11. | Diseño experimental para el objetivo N°2. ....   | 66 |
| Figura 12. | Diagrama de proceso para la modificación de almidón.....   | 68 |
| Figura 13. | Diseño experimental para el objetivo N°3. ....   | 71 |
| Figura 14. | Diseño experimental para el objetivo N°4. ....   | 72 |
| Figura 15. | Diagrama de procesamiento para la elaboración y aplicación de recubrimiento a fresas.....  | 81 |
| Figura 16. | Diseño experimental para el objetivo N°5. ....   | 85 |
| Figura 17. | (A) papa amarga variedad Locka y (B) chuño de la misma muestra de papa amarga variedad Locka. ....   | 91 |
| Figura 18. | © papa dulce variedad Imilla Negra y (D) chuño de la misma muestra de papa dulce variedad Imilla Negra. ....   | 91 |
| Figura 19. | Porcentaje de humedad en muestras de papa y chuño. ....  | 95 |
| Figura 20. | Porcentaje de cenizas en muestras de papa y chuño. ....  | 96 |
| Figura 21. | Porcentaje de proteínas en muestras de papa y chuño. ....  | 97 |
| Figura 22. | Porcentaje de grasas en muestras de papa y chuño. ....   | 98 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Figura 23. | Porcentaje de fibra en muestras de papa y chuño. ....  | 99  |
| Figura 24. | Porcentaje de carbohidratos en muestras de papa y chuño. ....  | 100 |
| Figura 25. | Rendimiento total en la elaboración de chuño. ....   | 102 |
| Figura 26. | Porcentaje de rendimiento de los almidones de papa y chuño. ....   | 104 |
| Figura 27. | Porcentaje de humedad de almidones nativos y modificados de papa y chuño. ....   | 114 |
| Figura 28. | Porcentaje de cenizas de almidones nativos y modificados de papa y chuño. ....   | 117 |
| Figura 29. | Porcentaje de grasa de almidones nativos y modificados de papa y chuño. ....   | 118 |
| Figura 30. | Porcentaje de fibra de almidones nativos y modificados de papa y chuño. ....   | 119 |
| Figura 31. | Porcentaje de proteína de almidones nativos y modificados de papa y chuño. ....  | 120 |
| Figura 32. | Porcentaje de carbohidratos de almidones nativos y modificados de papa y chuño. ....   | 122 |
| Figura 33. | Porcentaje de amilosa y amilopectina de almidones nativos y modificados de papa y chuño. ....  | 123 |
| Figura 34. | Termogramas de almidones nativos y modificados de papa y chuño. ....   | 129 |
| Figura 35. | Curvas de flujo de las 16 muestras de almidones nativos y modificados de papa y chuño. ....  | 137 |
| Figura 36. | Curvas de flujo de almidón nativo y modificado de papa Locka. ....   | 138 |
| Figura 37. | Curvas de flujo de almidón nativo y modificado de papa Imilla Negra. ....  | 139 |
| Figura 38. | Curvas de flujo de almidón nativo y modificado de chuño Locka. ....  | 140 |
| Figura 39. | Curvas de flujo de almidón nativo y modificado de chuño Imilla Negra. ....   | 141 |
| Figura 40. | Consumo de O <sub>2</sub> y la emisión de CO <sub>2</sub> de fresas sin recubrimiento. ....  | 147 |
| Figura 41. | Consumo de O <sub>2</sub> y la emisión de CO <sub>2</sub> de fresas con recubrimiento de almidón de papa Imilla Negra. ....            | 147 |
| Figura 42. | Consumo de O <sub>2</sub> y la emisión de CO <sub>2</sub> de fresas con recubrimiento de almidón modificado de papa Imilla Negra. .... | 148 |
| Figura 43. | Consumo de O <sub>2</sub> y la emisión de CO <sub>2</sub> de fresas con recubrimiento de almidón de papa Locka. ....                   | 148 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Figura 44. | Consumo de O <sub>2</sub> y la emisión de CO <sub>2</sub> de fresas con recubrimiento de almidón modificado de papa Locka. ....         | 149 |
| Figura 45. | Consumo de O <sub>2</sub> y la emisión de CO <sub>2</sub> de fresas con recubrimiento de almidón de chuño Imilla Negra. ....            | 149 |
| Figura 46. | Consumo de O <sub>2</sub> y la emisión de CO <sub>2</sub> de fresas con recubrimiento de almidón modificado de chuño Imilla Negra. .... | 150 |
| Figura 47. | Consumo de O <sub>2</sub> y la emisión de CO <sub>2</sub> de fresas con recubrimiento de almidón de chuño Locka. ....                   | 150 |
| Figura 48. | Consumo de O <sub>2</sub> y la emisión de CO <sub>2</sub> de fresas con recubrimiento de almidón modificado de chuño Locka. ....        | 151 |
| Figura 49. | Permeabilidad al vapor de agua de recubrimientos con almidón nativo y modificado de papa y chuño. ....                                  | 155 |
| Figura 50. | Pérdida de peso (%) en fresas con y sin recubrimiento. ....   | 158 |
| Figura 51. | Acidez en fresas con y sin recubrimiento. ....  | 159 |
| Figura 52. | pH en fresas con y sin recubrimiento. ....  | 160 |
| Figura 53. | °Brix en fresas con y sin recubrimiento. ....   | 163 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| ANEXO 1.  | Análisis de ANOVA para el porcentaje de humedad de papa y chuño.....                                    | 201 |
| ANEXO 2.  | Prueba LSD para el porcentaje de humedad de papa y chuño.....   | 201 |
| ANEXO 3.  | Análisis de ANOVA para el porcentaje de cenizas de papa y chuño.....                                    | 201 |
| ANEXO 4.  | Prueba LSD para el porcentaje de cenizas de papa y chuño.....   | 201 |
| ANEXO 5.  | Análisis de ANOVA para el porcentaje de proteína de papa y chuño.....                                   | 202 |
| ANEXO 6.  | Prueba LSD para el porcentaje de proteína de papa y chuño.....  | 202 |
| ANEXO 7.  | Análisis de ANOVA para el porcentaje de grasa de papa y chuño.....                                      | 202 |
| ANEXO 8.  | Prueba LSD para el porcentaje de grasa de papa y chuño.....   | 202 |
| ANEXO 9.  | Análisis de ANOVA para el porcentaje de fibra de papa y chuño.....                                      | 203 |
| ANEXO 10. | Prueba LSD para el porcentaje de fibra de papa y chuño.....   | 203 |
| ANEXO 11. | Análisis de ANOVA para el porcentaje de carbohidratos de papa y chuño....                               | 203 |
| ANEXO 12. | Prueba LSD para el porcentaje de carbohidratos de papa y chuño.....                                     | 203 |
| ANEXO 13. | Análisis de ANOVA para el porcentaje de rendimiento total en la elaboración de chuño.....               | 204 |
| ANEXO 14. | Prueba LSD para el porcentaje de rendimiento total en la elaboración de chuño.....                      | 204 |
| ANEXO 15. | Análisis de ANOVA para el porcentaje de rendimiento de los almidones.....                               | 204 |
| ANEXO 16. | Prueba LSD para el porcentaje de rendimiento de los almidones.....                                      | 204 |
| ANEXO 17. | Análisis de ANOVA para el espacio de color L* para almidones nativos y modificados de papa y chuño..... | 205 |
| ANEXO 18. | Prueba LSD para el espacio de color L* para almidones nativos y modificados de papa y chuño.....        | 205 |
| ANEXO 19. | Análisis de ANOVA para el espacio de color a* para almidones nativos y modificados de papa y chuño..... | 206 |
| ANEXO 20. | Prueba LSD para el espacio de color a* para almidones nativos y modificados de papa y chuño.....        | 206 |
| ANEXO 21. | Análisis de ANOVA para el espacio de color b* para almidones nativos y modificados de papa y chuño..... | 207 |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| ANEXO 22. | Prueba LSD para el espacio de color b* para almidones nativos y modificados de papa y chuño.....              | 207 |
| ANEXO 23. | Análisis de ANOVA para el porcentaje de humedad de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....       | 208 |
| ANEXO 24. | Prueba LSD para el porcentaje de humedad de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....              | 208 |
| ANEXO 25. | Análisis de ANOVA para el porcentaje de cenizas de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....       | 209 |
| ANEXO 26. | Prueba LSD para el porcentaje de cenizas de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....              | 209 |
| ANEXO 27. | Análisis de ANOVA para el porcentaje de grasa de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....         | 210 |
| ANEXO 28. | Prueba LSD para el porcentaje de grasa de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....                | 210 |
| ANEXO 29. | Análisis de ANOVA para el porcentaje de fibra de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....         | 211 |
| ANEXO 30. | Prueba LSD para el porcentaje de fibra de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....                | 211 |
| ANEXO 31. | Análisis de ANOVA para el porcentaje de proteínas de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....     | 212 |
| ANEXO 32. | Prueba LSD para el porcentaje de proteínas de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....            | 212 |
| ANEXO 33. | Análisis de ANOVA para el porcentaje de carbohidratos de almidones nativos y modificados de papa y chuño..... | 213 |
| ANEXO 34. | Prueba LSD para el porcentaje de carbohidratos de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....        | 213 |
| ANEXO 35. | Análisis de ANOVA para el porcentaje de amilosa de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....       | 214 |
| ANEXO 36. | Prueba LSD para el porcentaje de amilosa de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....              | 214 |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| ANEXO 37. | Análisis de ANOVA para el porcentaje de amilopectina de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....   | 215 |
| ANEXO 38. | Prueba LSD para el porcentaje de amilopectina de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....  | 215 |
| ANEXO 39. | Análisis de ANOVA para determinar la temperatura inicial $T_0$ (°C) de las muestras de almidones nativos y modificados de papa y chuño. ....             | 216 |
| ANEXO 40. | Prueba LSD para determinar la temperatura inicial $T_0$ (°C) de las muestras de almidones nativos y modificados de papa y chuño. ....                    | 216 |
| ANEXO 41. | Análisis de ANOVA para determinar la temperatura Pico $T_p$ (°C) de las muestras de almidones nativos y modificados de papa y chuño. ....                | 217 |
| ANEXO 42. | Prueba LSD para determinar la temperatura Pico $T_p$ (°C) de las muestras de almidones nativos y modificados de papa y chuño. ....                       | 217 |
| ANEXO 43. | Análisis de ANOVA para determinar la temperatura final $T_f$ (°C) de las muestras de almidones nativos y modificados de papa y chuño. ....               | 218 |
| ANEXO 44. | Prueba LSD para determinar la temperatura final $T_f$ (°C) de las muestras de almidones nativos y modificados de papa y chuño. ....                      | 218 |
| ANEXO 45. | Análisis de ANOVA para determinar la entalpía de gelatinización $\Delta H$ (J/g) de las muestras de almidones nativos y modificados de papa y chuño .... | 219 |
| ANEXO 46. | Prueba LSD para determinar la entalpía de gelatinización $\Delta H$ (J/g) de las muestras de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....        | 219 |
| ANEXO 47. | Análisis de ANOVA para el umbral de fluencia $\sigma_0$ (Pa) de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....                                     | 220 |
| ANEXO 48. | Prueba LSD para el umbral de fluencia $\sigma_0$ (Pa) de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....  | 220 |
| ANEXO 49. | Análisis de ANOVA para el índice reológico( $\eta$ ) de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....   | 221 |
| ANEXO 50. | Prueba LSD para el índice reológico( $\eta$ ) de almidones nativos y modificados de papa y chuño .....   | 221 |
| ANEXO 51. | Análisis de ANOVA para el índice de consistencia (K) de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....   | 222 |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| ANEXO 52. | Prueba LSD para el índice de consistencia (K) de almidones nativos y modificados de papa y chuño.....                                      | 222 |
| ANEXO 53. | Análisis de ANOVA para la tasa de respiración en términos de generación de Oxígeno.....  | 223 |
| ANEXO 54. | Prueba LSD para la tasa de respiración en términos de generación de Oxígeno .....  | 223 |
| ANEXO 55. | Análisis de ANOVA para la tasa de respiración en términos de generación de dióxido de carbono.....   | 223 |
| ANEXO 56. | Prueba LSD para la tasa de respiración en términos de generación de dióxido de carbono.....  | 224 |
| ANEXO 57. | Análisis de ANOVA para el coeficiente respiratorio.....  | 224 |
| ANEXO 58. | Prueba LSD para el coeficiente respiratorio.....   | 224 |
| ANEXO 59. | Análisis de ANOVA para la permeabilidad al vapor de agua de recubrimientos comestibles de almidón nativo y modificado de papa y chuño..... | 225 |
| ANEXO 60. | Prueba LSD para la permeabilidad al vapor de agua de recubrimientos comestibles de almidón nativo y modificado de papa y chuño.....        | 225 |
| ANEXO 61. | Análisis de ANOVA para el porcentaje de pérdida de peso de las fresas con y sin recubrimiento en el día 4.....                             | 225 |
| ANEXO 62. | Prueba LSD para el porcentaje de pérdida de peso de las fresas con y sin recubrimiento en el día 4 .....                                   | 226 |
| ANEXO 63. | Análisis de ANOVA para el porcentaje de pérdida de peso de las fresas con y sin recubrimiento en el día 8.....                             | 226 |
| ANEXO 64. | Prueba LSD para el porcentaje de pérdida de peso de las fresas con y sin recubrimiento en el día 8 .....                                   | 226 |
| ANEXO 65. | Análisis de ANOVA para el porcentaje de pérdida de peso de las fresas con y sin recubrimiento en el día 12.....                            | 227 |
| ANEXO 66. | Prueba LSD para el porcentaje de pérdida de peso de las fresas con y sin recubrimiento en el día 12 .....                                  | 227 |
| ANEXO 67. | Análisis de ANOVA para la acidez de las fresas con y sin recubrimiento en el día 0.....  | 227 |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| ANEXO 68. | Prueba LSD para la acidez de las fresas con y sin recubrimiento en el día 0.....         | 228 |
| ANEXO 69. | Análisis de ANOVA para la acidez de las fresas con y sin recubrimiento en el día 4.....  | 228 |
| ANEXO 70. | Prueba LSD para la acidez de las fresas con y sin recubrimiento en el día 4.....         | 228 |
| ANEXO 71. | Análisis de ANOVA para la acidez de las fresas con y sin recubrimiento en el día 8.....  | 229 |
| ANEXO 72. | Prueba LSD para la acidez de las fresas con y sin recubrimiento en el día 8.....         | 229 |
| ANEXO 73. | Análisis de ANOVA para la acidez de las fresas con y sin recubrimiento en el día 12..... | 229 |
| ANEXO 74. | Prueba LSD para la acidez de las fresas con y sin recubrimiento en el día 12.....        | 230 |
| ANEXO 75. | Análisis de ANOVA para el pH de las fresas con y sin recubrimiento en el día 0.....      | 230 |
| ANEXO 76. | Prueba LSD para el pH de las fresas con y sin recubrimiento en el día 0.....             | 230 |
| ANEXO 77. | Análisis de ANOVA para el pH de las fresas con y sin recubrimiento en el día 4.....      | 231 |
| ANEXO 78. | Prueba LSD para el pH de las fresas con y sin recubrimiento en el día 4.....             | 231 |
| ANEXO 79. | Análisis de ANOVA para el pH de las fresas con y sin recubrimiento en el día 8.....      | 231 |
| ANEXO 80. | Prueba LSD para el pH de las fresas con y sin recubrimiento en el día 8.....             | 232 |
| ANEXO 81. | Análisis de ANOVA para el pH de las fresas con y sin recubrimiento en el día 12.....     | 232 |
| ANEXO 82. | Prueba LSD para el pH de las fresas con y sin recubrimiento en el día 12....             | 232 |
| ANEXO 83. | Análisis de ANOVA para los °brix de las fresas con y sin recubrimiento en el día 0.....  | 233 |
| ANEXO 84. | Prueba LSD para los °brix de las fresas con y sin recubrimiento en el día 0.....         | 233 |
| ANEXO 85. | Análisis de ANOVA para los °brix de las fresas con y sin recubrimiento en el día 4.....  | 233 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| ANEXO 86.  | Prueba LSD para los °brix de las fresas con y sin recubrimiento en el día 4.....                     | 234 |
| ANEXO 87.  | Análisis de ANOVA para los °brix de las fresas con y sin recubrimiento en el día 8.....              | 234 |
| ANEXO 88.  | Prueba LSD para los °brix de las fresas con y sin recubrimiento en el día 8.....                     | 234 |
| ANEXO 89.  | Análisis de ANOVA para los °brix de las fresas con y sin recubrimiento en el día 12.....             | 235 |
| ANEXO 90.  | Prueba LSD para los °brix de las fresas con y sin recubrimiento en el día 12.....                    | 235 |
| ANEXO 91.  | Fotografías de la elaboración de chuño a partir de las variedades de papa imilla negra y locka. .... | 236 |
| ANEXO 92.  | Fotografías de la extracción de almidón.....   | 237 |
| ANEXO 93.  | Fotografías de la tasa de respiración y vida útil en fresas con y sin recubrimiento.....             | 238 |
| ANEXO 94.  | Metodologías para la determinación de la composición proximal.....                                   | 239 |
| ANEXO 98.  | Comportamiento reológico de los geles de almidón.....  | 243 |
| ANEXO 96.  | Absorbancia 620 nm de las muestras de almidón nativo y modificado de papa y chuño.....               | 244 |
| ANEXO 97.  | Contenido de amilosa de almidones nativos y modificado de papa y chuño.....                          | 247 |
| ANEXO 98.  | Obtención de formulaciones formadoras de recubrimiento.....  | 250 |
| ANEXO 99.  | Datos experimentales.....  | 254 |
| ANEXO 100. | Diseño estadístico.....  | 266 |

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue caracterizar las propiedades fisicoquímicas, térmicas y reológicas de almidones nativos y modificados de papa (*Solanum tuberosum*) y chuño para su uso en recubrimientos comestibles. La presente investigación se realizó en la ciudad de Juliaca a una altura de 3824 m.s.n.m, a excepción de los análisis de las propiedades térmicas y reológicas, las cuales se desarrollaron en la Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba. Se extrajo almidón de papa y chuño de las variedades Imilla Negra y Locka, la modificación química se realizó con anhídrido acético en tres niveles: 5, 10 y 15 ml. Se obtuvieron recubrimientos comestibles con almidones nativos y modificados los cuales fueron aplicados a fresas, se determinó la tasa de respiración a 10°C y la permeabilidad al vapor de agua. Se evaluó la pérdida de peso, pH, acidez y °Brix cada 4 días durante 12 días a 5°C de las fresas con recubrimiento comestible. El diseño experimental fue DCA. Los almidones nativos y modificados de papa y chuño mostraron diferencias significativas en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas, térmicas y reológicas. La tasa de respiración de las fresas con recubrimiento fue menor que la muestra control. La permeabilidad al vapor de agua de los recubrimientos fue menor utilizando almidones modificados. Las fresas con recubrimiento comestible mostraron una menor disminución de la pérdida de peso en comparación con la muestra control en el día 12 de almacenamiento, la acidez, pH y °Brix fueron disminuyendo progresivamente.

**Palabras clave:** Papa, chuño, almidón, recubrimiento comestible.

## ABSTRACT

The objective of this research was to characterize the physicochemical, thermal and rheological properties of native and modified potato (*Solanum tuberosum*) and chuño starches for their use in edible coatings. The present research was carried out in the city of Juliaca at an altitude of 3824 m.a.s.l, except for the analysis of the thermal and rheological properties, which were developed at the National Intercultural University of Quillabamba. Potato and chuño starch was extracted from the Imilla Negra and Locka varieties, the chemical modification was carried out with acetic anhydride at three levels: 5, 10 and 15 ml. Edible coatings were obtained with native and modified starches which were applied to strawberries, the respiration rate at 10 °C and the water vapor permeability were determined. Weight loss, pH, acidity and °Brix were evaluated every 4 days for 12 days at 5°C of strawberries with edible coating. The experimental design was DCA. Native and modified potato and chuño starches showed significant differences in their physicochemical, thermal and rheological properties. The respiration rate of the coated strawberries was lower than the control sample. The water vapor permeability of the coatings was lower using modified starches. Strawberries with edible coating showed a smaller decrease in weight loss compared to the control sample on day 12 of storage, acidity, pH and °Brix were progressively decreasing.

**Keywords:** Potato, chuño, starch, edible coating.

## INTRODUCCIÓN

Las variedades de papas nativas resisten climas muy adversos (Garcia & Satander, 2011). Su origen proviene de América del Sur en las zonas de la Región Puno y Cusco, las variedades se diferencian por su tamaño, forma, entre otras características (Cahuana & Arcos, 2002). La producción de papa se puede realizar en muchos climas (Gabriel *et al.*, 2014), resisten muchos tipos de estrés como abiótico y biótico (Soto, Medina, Aquino, & Estrada, 2014). Por otra parte, el chuño se caracteriza por su tiempo alto de conservación cerca a los 6 meses (Quispe, 2009), las papas amargas que tienen la capacidad de resistir climas rigurosos son utilizados para la elaboración de chuño en términos generales es un proceso de liofilización tradicional (Burgos, Haan, Salas, & Bonierbale, 2009). Los procesos para la elaboración de chuño consisten en la expansión de papa en áreas planas las cuales son cubiertas con paja, por un periodo de tres noches son congeladas con el clima característico de la región altiplánica, luego son pisoteados para extraer el agua, después se congelan por segunda vez y finalmente se secan con la ayuda del sol, extrayendo gran parte del agua y aumentando su vida útil (Burgos *et al.*, 2009; Jallaza, 2007).

El almidón es un componente de la papa, dicho almidón tiene propiedades funcionales como viscosidad, poder de hinchamiento, claridad, entre otras que dependen de la variedad de papa (Noda *et al.*, 2006; Sandhu & Singh, 2007; Zhou *et al.*, 2014). Así mismo, el chuño también contiene almidón, el tipo de almidón que contiene puede ser un almidón resistente que tiene la capacidad de soportar la digestión en el intestino delgado y puede llegar al intestino grueso donde es degradado, el contenido de este tipo de almidón se puede encontrar en el chuño (Koteswara, Haripriya, Noor, & Suriya, 2014).

Los almidones de papa y chuño pueden tener características importantes, sin embargo, estas características son limitantes, la modificación de dichos almidones puede mejorar sus propiedades funcionales, propiedades térmicas, entre otros, se menciona que el uso industrial de estos almidones en su forma nativa puede ser deficiente (Stasiak, Molenda, Horabik, Mueller, & Opaliński, 2014), una forma de cambiar esto es la modificación (Da Rosa *et al.*, 2012).

Las propiedades térmicas relaciona la temperatura con la muestra de estudio, es decir en presencia de temperatura estas muestras pueden cambiar, se pueden transformar, tratamientos como la esterilización, deshidratación, pasteurización, congelación entre otros son ejemplos muy característicos que pueden cambiar la forma y tamaño de la muestra de estudio así como sus propiedades funcionales, fisicoquímicas, entre otros, las cuales pueden influir en la manera que se acepte dicha muestra de estudio (Bemiller & Wistler, 2009), las temperaturas oscilan entre -50 y 300 °C (Raemy, 2003), la viscosidad relaciona el flujo con su deformación en presencia de un esfuerzo cortante utilizando como muestra geles (Rao, 2014).

En base a la información mencionada anteriormente, es claro que el almidón de papa y chuño tiene propiedades importantes, sin embargo, se requiere que estos gránulos de almidón tengan mejores características para poder utilizarlos en la elaboración de recubrimientos comestibles, en tal sentido una de las alternativas para lograr esto es la modificación química, la modificación por acetilación es un método químico de sustitución, esto implica la introducción de un grupo acetilo en la cadena principal del gránulo de almidón nativo o polimérico (Singh, Kaur, & Singh, 2004).

La fresa es una fruta que tiene parámetros de calidad como su respiración que oscila entre (50-100 ml CO<sub>2</sub> · kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup> a 20°C) siendo este valor muy alto y catalogando a este fruto como muy perecedero y la pérdida de peso es otro factor importante que se relaciona con la pérdida de agua del fruto consecuencia de la alta respiración que afectará su textura externa, el contenido de sólidos solubles puede disminuir en la etapa post cosecha del fruto en mención a causa del uso de azúcares que se originan en la hidrólisis de la sacarosa, el pH no cambia significativamente luego del proceso de cosecha, también existe una relación entre CO<sub>2</sub> y este parámetro y la acidez de las fresas nos da a conocer la maduración cuando se relaciona con la cantidad de sólidos solubles presente en dicho fruto (Almenar, 2005).

Como se mencionó anteriormente, la fresa es un fruto perecedero, por lo tanto, se puede aplicar recubrimientos comestibles que pueden mantener sus características de calidad, las propiedades más importantes de un recubrimiento son la permeabilidad al vapor de agua y la permeabilidad a los gases como CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> (Pastor, 2010).

En la presente investigación se elaboró chuño bajo condiciones controladas a partir de papa variedad Imilla Negra y Locka, se procedió a extraer el almidón tanto de las papas como del chuño, posterior a ello, se modificaron con anhídrido acético, luego se realizó la caracterización fisicoquímica, térmica y reológica de estos almidones nativos y modificados de papa y chuño para darles el uso en la elaboración de recubrimientos comestibles aplicados a fresas.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La papa contiene almidón el cual constituye una fuente de energía donde su contenido es diferente según las variedades de papas, crecimiento de la planta que está comprendida entre 15% y 20% de su peso, también contiene alto porcentaje de fósforo a diferencia de las distintas fuentes de almidón que existen. Su composición fisicoquímica, tiempo de crecimiento, fertilización y ciclo de crecimiento de la papa es diferente en cada variedad. Por otra parte, el almidón contiene amilosa y amilopectina donde el segundo componente representa entre 75% a 80% autónomo del tamaño de los gránulos de almidón. Es por ello que estas características que el almidón de papa posee son una fuente para la obtención de recubrimientos comestibles (Pardo, Castañeda, & Armando, 2013).

Los procesos de congelación, descongelación y secado de las distintas variedades de papas nativas dan como resultado el chuño o papa deshidratada y/o liofilizada (Jallaza, 2007). Por otra parte, Christiansen & Thompson (1971) mencionan que las papas nativas amargas no eran utilizadas para la alimentación por el hecho de tener características organolépticas no aceptables por el consumidor, sin embargo, son una buena opción para el proceso de elaboración de chuño. Las papas amargas convertidas a chuño se pueden almacenar durante muchos años, su contenido de nutrientes las convierte en un producto muy importante. Hoy en día se elabora chuño de muchas variedades de papa que tienen distinto contenido de nutrientes, sabor, textura, entre otras características (Haan *et al.*, 2009; Miranda & Aguilera, 2006).

La modificación del almidón es importante porque logra obtener propiedades funcionales mucho mejores a los almidones que se obtienen tradicionalmente, es decir los almidones nativos se caracterizan por ser estabilizadores de textura, sin embargo, tiene limitantes como

menor cizallamiento, retrogradación elevada, propiedades térmicas inestables, entre otros, es por estas razones que al usarlas en procesos industriales no se obtienen los resultados que se esperan (Stasiak *et al.*, 2014). Entonces al modificar un almidón aumentamos sus características fisicoquímicas, térmicas y reológicas, logrando obtener un almidón con mayor valor agregado (Da Rosa *et al.*, 2012), en base a esta información podemos afirmar que es necesario realizar la caracterización fisicoquímica, térmica y reológica de almidón nativo y modificado de papa y chuño.

El uso de recubrimientos comestibles para aumentar la vida útil de las frutas es un método muy efectivo, un recubrimiento comestible proporciona una barrera contra los gases (Vargas *et al.*, 2008). De forma general los recubrimientos se pueden aplicar de forma líquida sobre la parte externa de los alimentos, algunos métodos son mediante filtración, inmersión y pulverización (McHugh & Senesi, 2000). El almidón se puede utilizar como un material para la elaboración de recubrimientos comestibles porque presenta una estructura granular y sus componentes mayoritarios son la amilosa y amilopectina (Cano, Jiménez, Cháfer, González, & Chiralt, 2014).

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Evaluar las propiedades fisicoquímicas, térmicas y reológicas de almidones nativos y modificados de papa (*Solanum tuberosum*) y chuño para su uso en recubrimientos comestibles.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Comparar el rendimiento y la composición proximal de chuño a partir de las variedades de papa Locka e Imilla Negra.
- Determinar el rendimiento de extracción de almidón nativo de papa y chuño.
- Modificar almidones nativos de papa y chuño.
- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas, térmicas y reológicas de los almidones nativos y modificados de papa y chuño.
- Elaborar un recubrimiento comestible con almidón nativo y modificado de papa y chuño.

### 1.3. JUSTIFICACIÓN

En comparación con otros alimentos la papa se puede producir en diversos climas (Gabriel *et al.*, 2014), las ventajas más importantes de las papas nativas son la resistencia a distintos tipos de estrés entre los cuales están el abiótico y biótico (Soto *et al.*, 2014). La papa es considerada una fuente muy importante de carbohidratos como los gránulos de almidón, además tienen cantidades mínimas (trazas) menor al 4 por ciento de minerales, proteínas, lípidos, antocianinas entre otros (Bordoloi, Kaur, & Singh, 2012). Así mismo, Jallaza (2007) menciona que los procesos de congelación, descongelación y secado de las distintas variedades de papas nativas dan como resultado el chuño o papa deshidratada y/o liofilizada. Las papas amargas convertidas a chuño se pueden almacenar durante muchos años, su contenido de nutrientes las convierte en un producto muy importante, hoy en día se elabora chuño de muchas variedades de papa que tienen distinto contenido de nutrientes, sabor, textura, entre otras características (Haan *et al.*, 2009; Miranda & Aguilera, 2006).

Los gránulos de almidón de papa contienen propiedades funcionales muy importantes como la alta viscosidad, claridad del propio gel, poder de hinchamiento, alto contenido de fósforo, tamaño significativamente mayor dependiendo de la variedad y retrogradación con tendencia baja (Noda *et al.*, 2006; Sandhu & Singh, 2007; Zhou *et al.*, 2014). Los almidones resistentes se pueden utilizar en la industria alimentaria porque contienen características muy importantes, tienen un tamaño pequeño, menor capacidad para retener agua, viscosidad, poder de hinchamiento, formación de geles, en tal sentido se puede sustituir la harina por este tipo de almidón, el uso radica en productos extruidos y horneados (Sajilata, Singhal, & Kulkarni, 2006). La modificación del almidón es importante porque logra obtener propiedades funcionales mucho mejores a los almidones que se obtienen tradicionalmente, es decir los almidones nativos se caracterizan por ser estabilizadores de textura, sin embargo, tiene limitantes como menor cizallamiento, retrogradación elevada, propiedades térmicas inestables, entre otros (Stasiak *et al.*, 2014).

El cultivar de papa nativa Yana Imilla es de gran jerarquía económica y social en la Región Altiplánica, por su extensa difusión, ajuste, cuerpo de elaboración y alta buena calidad gastronómica y productiva, su cultivo es patrimonial, conociéndose desde tiempos muy

arcaicos en las localidades donde se produce en la actualidad, así mismo se le conoce como Imilla Negra, Chiar Imilla o Yana Imilla que se interpreta como (quemado por el sol y frío), la peculiaridad más importante es su color, forma, calidad gastronomía y productiva, que es tan respetable y gustoso y, cuando se consume se aprecia una degustación muy atrayente y farinácea. Es útil para la elaboración de chuño y tunta, por su excelente calidad gastronómica (INIA, 2009).

Así mismo el cultivar de papa nativa Locka, es fuertemente importante en la región de Altiplánica, por su difusión, ajuste, corpulencia de creación y calidad para la elaboración de chuño blanco, su cultivo es patrimonial, realizándose desde tiempos muy pretéritos en las localidades donde se produce en la actualidad, el nombre único que viene a ser Locka proviene de los léxicos quechua y aymará. La peculiaridad más trascendental es su color, representación, dermis y calidad muy respetable para el proceso de “chuño blanco” o “tunta”, este producto ya sea transformado o crudo contiene un alto contenido de glicoalcaloides (INIA, 2009).

Para caracterizar las propiedades fisicoquímicas se utilizan los métodos (A.O.A.C. 2005), donde se encontrarán resultados diferentes o iguales de acuerdo al método de extracción de almidón, por otra parte, caracterizar las propiedades térmicas nos ayudan a identificar las transiciones de fase y también los cambios que se puede originar en los gránulos de almidón y esto se obtiene por calorimetría diferencial de barrido DSC (Rodríguez, San, & De la Cruz, 2001; Singh, McCarthy, & Singh, 2006; Vermeulen, Goderis, & Delcour, 2006).

La deformación y el flujo son estudiados por la reología, es decir, los alimentos tienen características reológicas que están en función de su flujo y deformación en presencia de esfuerzos cortantes, los alimentos pueden tener características únicas como los geles, emulsiones, líquidos homogéneos, sólidos y suspensiones de sólidos, los alimentos adquieren la forma del recipiente y su forma si cambia son fluidos, estos alimentos pueden tener un comportamiento no newtoniano si contienen polímeros y sólidos, las características que pueden presentar son elasticidad y viscosidad originando un comportamiento del tipo viscoelástico (Rao, 2014).

Es por tales razones que la caracterización de la materia prima que en esta investigación es el almidón de papa y chuño de las variedades Imilla Negra y Locka, la modificación por acetilación implica la introducción de un grupo acetilo en la cadena principal de los gránulos de almidón (Singh *et al.*, 2004). Con la finalidad de darle un uso a este tipo de almidones nativos y modificados de papa y chuño se elaboró recubrimientos comestibles que fueron aplicados a fresas en la presente investigación.

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **2.1. ANTECEDENTES**

Peña (2017), en su estudio denominado “Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de cinco variedades de papas nativas procedentes de Ilave Puno” en la ciudad Lima del país (Perú), menciona que encontraron diferencias significativas en las propiedades evaluadas en los almidones de papa catalogándolas en diferentes usos industriales, se obtuvo el mayor rendimiento de almidón a partir de la papa Imilla Blanca, los cinco almidones de papa resultaron ser altamente puros porque mostraron bajo contenido de grasa (0.0 a 0.09 por ciento) y proteínas (0.58 a 0.76 por ciento); los cinco almidones mostraron una luminosidad ( $L^*$ ) de 96.56 por ciento, las temperaturas de gelatinización ( $T_0$ ,  $T_p$  y  $T_c$ ) para el almidón Ocucuri Blanca fueron las más bajas, respecto a la entalpía de gelatinización no se observó diferencia significativa; se observó un comportamiento no Newtoniano en los cinco almidones nativos de papa y el umbral de fluencia osciló entre 0.13 a 1.24 Pa.

Sulbarán, Matiz, & Baena (2018), en su estudio denominado “Acetilación del almidón de millo (*Pennisetum glaucum*) y evaluación de su aplicación como posible excipiente”, realizaron la modificación por acetilación a almidones de millo y maíz por acetilación a tres niveles I, II y III utilizando 5, 10 y 15 ml de anhídrido acético, respecto a las temperaturas de gelatinización para almidón de millo sin modificar fueron de 71.41 °C el cual disminuyó al ser modificado con los niveles ya mencionados, donde se obtuvo 64.42, 64.12 y 61.83 °C para los niveles de modificación de 5, 10 y 15 ml de anhídrido acético, así mismo mencionan que la disminución de la temperatura de gelatinización al incrementar la cantidad de anhídrido acético se debe al daño de las estructuras del almidón, esto origina la interrupción de las dobles hélices en las regiones amorfas de los gránulos de almidón debida a los grupos

acetilo que constituyen parte de la estructura del gránulo de almidón a causa de la acetilación, esto a su vez genera la disminución de las tensiones de los grupos hidroxilo que se encuentran en los almidones sin modificar, también se afirma que al aplicar el porcentaje más alto de anhídrido acético el almidón de millo mejoró sus propiedades hinchamiento, sorción, viscosidad, mejor estabilidad, menor sinéresis, temperatura de gelatinización reducida, estas propiedades mejoraron porque se modificó químicamente las muestras de almidón.

Abdalla *et al.*, (2023), en su estudio denominado “Recubrimientos ecosostenibles a base de quitosano, pectina y nanoemulsión de aceite esencial de limón y su efecto en la conservación de la fresa”, elaboraron recubrimientos a base de quitosano, pectina, glicerina y nanoemulsión de aceite esencial de limón, dicho recubrimiento fue aplicado a muestras de fresas, respecto a la pérdida de peso no se observó diferencia significativa en la pérdida de peso y la firmeza de las fresas, respecto a la contaminación fúngica todos los recubrimientos inhibieron dicha característica en comparación con el control, los recubrimientos compuestos por (quitosano 1 % p/v y ácido acético 1 % v/v) y (pectina 1 % p/v, quitosano 0,5 % p/v y ácido acético 0,5 % v/v) inhibieron de forma eficaz la contaminación de las fresas, en conclusión los recubrimientos actuaron de forma antimicrobiana y antioxidante al ser aplicados a fresas.

## **2.2. PAPAS NATIVAS**

### **2.2.1. Generalidades**

Durante mucho tiempo los pueblos preincaicos cultivaron las distintas variedades de papas nativas, estas papas se caracterizan principalmente por resistir a climas muy adversos típicos del Perú (García & Santander, 2011). Las papas nativas se originaron en América del Sur, en las distintas zonas de la ciudad de Cusco y Puno, hoy en día existen muchas variedades que se caracterizan por su tamaño, forma, entre otros (Cahuana & Arcos, 2002).

En comparación con otros alimentos la papa se puede producir en diversos climas (Gabriel *et al.*, 2014), las ventajas más importantes de las papas nativas son la resistencia a distintos tipos de estrés entre los cuales están el abiótico y biótico (Soto *et al.*, 2014).

### 2.2.2. Composición química de la papa

La composición química de la papa comprende a los carbohidratos, fibra, proteínas, cenizas y humedad, en este sentido esta composición se muestra de forma general en la Tabla 1.

**Tabla 1:** *Composición química de la papa.*

| Componentes             | Cantidad |
|-------------------------|----------|
| Carbohidratos (g/100gr) | 22.3     |
| Fibra (g/100gr)         | 2.4      |
| Proteínas (g/100gr)     | 2.1      |
| Cenizas (g/100gr)       | 1.0      |
| Humedad (g/100gr)       | 74.5     |

FUENTE: Reyes, Gomez-Sanchez, & Espinoza (2017).

### 2.2.3. Clasificación taxonómica

Las variedades de papa se pueden clasificar en base a su taxonomía, tal como se muestra a continuación (INIA, 2019).

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

Especie: (*Solanum tuberosum* L.)

Subespecie: tuberosum

#### 2.2.4. Especies de papas nativas

La papa es considerada una fuente muy importante de carbohidratos como los gránulos de almidón, además tienen cantidades mínimas (trazas) menor al 4 por ciento de minerales, proteínas, lípidos, antocianinas entre otros, así mismo, las variedades de papas tienen características diferentes entre sí, respecto a las especies se puede mencionar que las distintas papas nativas dulces o amargas, han sido seleccionadas y cultivadas en base a sus características, color, forma, sabor y tamaño, las especies de papas que existen se diferencian por los colores tales como rojo, blanco, amarillo, morado entre otros, su diversidad genética es otra cualidad importante, la adaptación a condiciones climáticas diferentes le otorgan una característica muy importante a este tipo de tubérculo (Bordoloi *et al.*, 2012).

Según Cahuana & Arcos (2002), las especies de las papas de las variedades correspondientes se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Especies diploides

*Solanum phureja*, *Solanum stenotomum* y *Solanum ajanhuiri*.

- Especie triploide

*Solanum x chaucha*.

- Especie tetraploide

*Solanum tuberosum*, es una especie muy importante y está conformado por dos sub especies: *Solanum tuberosum ssp tuberosum* y *Solanum tuberosum ssp andígena*.

Por otra parte, las especies de papas amargas tienen características importantes y son diferentes a las papas dulces, respecto a las variedades correspondientes que existen, estas están conformados por:

- Especie triploide

*Solanum x juzepczukii*.

- Especie pentaploide:

*Solanum x curtilobum*.

### 2.2.5. Clasificación de papas nativas

En la Tabla 2 podemos visualizar la papa dulce variedad Imilla Negra que corresponde a la especie *Solanum tuberosum* subespecie indígena y también se pueden visualizar la papa amarga variedad Locka que corresponde a la especie *Solanum juzepczukii*, estas variedades de papa se siembran a 4000 m.s.n.m aproximadamente (Cahuana & Arcos, 2002).

Los periodos vegetativos de las distintas variedades de papa oscilan entre 4 a 7 meses, cuenta con un porcentaje de materia seca elevado por lo tanto se adaptan a las condiciones climáticas características de la región alto andina (García & Santander, 2011).

**Tabla 2: Papas nativas dulces y amargas**

| Nombre de la variedad de papa   | Descripción  |
|---------------------------------|--|
| Nombre en quechua: Imilla negra | La variedad de papa Yana Imilla tiene un periodo de vegetación de 155 a 160 días por lo tanto es semi tardío, el rendimiento llega a las 30 t/ha. La variedad mencionada se adaptó a una altitud de 3 800 m.s.n.m, entre los cuales se tiene a Apurímac, Moquegua, Puno, Arequipa y Cusco.                                 |
| Nombre en quechua: Locka        | La variedad de papa Locka tiene un periodo de vegetación de 170 días, el rendimiento llega a las 30 t/ha. La variedad mencionada se adaptó a una altitud de 3 800 m.s.n.m, entre los cuales se tiene a Puno, Ayacucho, Junín y Cusco. Esta variedad se caracteriza porque se utiliza para la elaboración de chuño y tunta. |

FUENTE: Cahuana & Arcos (2002).

Las papas amargas lo conforman las especies *Solanum juzepczukii* y *Solanum curtilobum*, estas especies provienen de una especie silvestre *Solanum acaule* a causa de cruzamientos de forma natural, esta especie puede soportar climas muy adversos y comprende desde los 3000 a 4000 m.s.n.m, altura característica de los Andes, en tal sentido las variedades de papa provenientes de esta especie resisten temperaturas de congelación y a la sequía (Cardenas, 2018). La especie *Solanum ajanhuiri* se cultiva en la región Puno y Bolivia, es considerada una variedad de papa amarga muy importante (CIP, 2006).

Las variedades de papa locka, parina, occocuri y piñaza al ser del tipo amargo, contienen elevada cantidad de glicoalcaloides en su composición, esta cualidad le confiere un sabor amargo, en la región Puno se realiza la liofilización tradicional de estas papas amargas con la finalidad de obtener chuño o tunta con un contenido de glicoalcaloides reducido, a su vez estos metabolitos cumplen la función de defensa contra las plagas (Cardenas, 2018). Los glicoalcaloides que podemos encontrar en la papa son la  $\alpha$ -chocanina y  $\alpha$ -solanina (Nema, Ramayya, Duncan, & Niranjana, 2008). El consumo de alimentos que contienen glicoalcaloides superiores a 14 mg/100 g puede ocasionar fiebre, vómitos, dolor de cabeza, entre otros síntomas (Friedman, 2006).

## **2.3. CHUÑO**

### **2.3.1. Origen y definición**

El origen del chuño remonta muchos años atrás, donde se elaboró chuño con la finalidad de aumentar la vida útil de las distintas variedades de papas nativas el tiempo de conservación podía llegar a los 6 meses (Quispe, 2009). Hoy en día las variedades de papa amarga se utilizan para la elaboración de chuño y tunta porque tienen la capacidad de resistir a las condiciones climáticas rigurosas, en los andes el periodo de heladas comprende desde junio a julio en estos meses se realiza dicha transformación de papa a chuño, los distintos agricultores comienzan con la producción del chuño aproximadamente el 24 de junio considerado el día donde las temperaturas son bastantes heladas, el objetivo principal de este proceso es la prolongación de la vida útil de los alimentos mencionados (Burgos *et al.*, 2009).

Asimismo, Jallaza (2007) menciona que los procesos de congelación, descongelación y secado de las distintas variedades de papas nativas dan como resultado el chuño o papa deshidratada y/o liofilizada, el chuño se caracteriza por tener un color negro esto debido a la oxidación en el periodo de secado como se muestra en la Figura 1.

Por otra parte, Christiansen & Thompson (1971) mencionan que las papas nativas amargas no eran utilizadas para la alimentación por el hecho de tener características organolépticas no aceptables por el consumidor, sin embargo, son una buena opción para el proceso de elaboración de chuño. Las papas amargas convertidas a chuño se pueden almacenar durante muchos años, su contenido de nutrientes las convierte en un producto muy importante.

Hoy en día se elabora chuño de muchas variedades de papa que tienen distinto contenido de nutrientes, sabor, textura, entre otras características, el proceso para la elaboración de chuño se conoce como liofilización tradicional porque implica la congelación, descongelación y secado de la papa con la finalidad de extraer la mayor cantidad agua de este tipo de tubérculo y asegurar un aumento en la vida útil de forma considerable, así mismo, los minerales tales como el Mg, Na, Fe, Ca, Zn y P, cambian consecuencia de la transformación de papa en chuño, localidad donde se ha producido la papa y cultivar, por otra parte, los procesos de congelación, descongelación y secado de la papa pueden utilizarse para obtener chuño blanco o chuño negro, donde la selección del tipo de papa, tamaño, temperatura, tiempo de secado, entre otros, son parámetros que se tienen que tener en cuenta para asegurar la calidad del producto final (Haan *et al.*, 2009; Miranda & Aguilera, 2006).



**Figura 1. Chuño para la venta**

FUENTE: Jallaza (2007).

### 2.3.2. Valor nutritivo

En la tabla 3 se da a conocer la composición nutricional del chuño en base a 100g. Sin embargo, el chuño y la tunta tienen un contenido de proteína distinto, donde dicho contenido es mayor en el chuño, pero durante la elaboración de dicho producto el porcentaje de este componente nutricional disminuye (Burgos, *et al.*, 2009).

**Tabla 3: Composición nutricional del chuño por 100 g**

| Composición          | Cantidad |
|----------------------|----------|
| Energía (Kcal)       | 333      |
| Grasa (g)            | 0.2      |
| Retinol              | -        |
| Fibra (g)            | 1.9      |
| Niacina (mg)         | 3.40     |
| Rivoflavina (mg)     | 0.17     |
| Proteína (g)         | 4        |
| Tiamina (mg)         | 0.13     |
| Agua (g)             | 14.1     |
| Calcio (mg)          | 44       |
| Carbohidrato (g)     | 79.4     |
| Hierro (mg)          | 0.9      |
| Ceniza (g)           | 2.3      |
| Fósforo (mg)         | 203      |
| Ácido ascórbico (mg) | 1.7      |

FUENTE: Reyes *et al.* (2017).

### 2.3.3. Calidad y tamaño

En la tabla 4 se muestra los 4 tamaños del chuño y estos se relacionan con la calidad del producto, mientras el tamaño sea mayor el precio de venta también será mayor a comparación de los tamaños pequeños, sin embargo, los consumidores optan por el consumo de chuño de calidad 4 ta debido a mejor sabor esto se relaciona con el equilibrio de absorción de humedad de este tipo de calidad, de igual forma, la elección de la variedad de papa es muy importante para asegurar la calidad del producto final como la tunta o chuño (Figuerola, 2009).

**Tabla 4: Calidad y tamaño del chuño**

| Calidad | Tubérculos redondos  | Tubérculos largos       |
|---------|----------------------|-------------------------|
| 1 ra    | Diámetro mayor a 4cm | Diámetro mayor a 3ccm   |
| 2 da    | Diámetro de 3-4cm    | Diámetro de 2.1 - 3ccm  |
| 3 ra    | Diámetro de 2-2.9cm  | Diámetro de 1.5 - 2ccm  |
| 4 ta    | Diámetro menor a 2cm | Diámetro menor a 1.5ccm |

FUENTE: Figueroa (2009).

#### 2.3.4. Proceso tecnológico del chuño

Para la elaboración de chuño se utilizan variedades de papas de preferencia amarga entre las cuales esta Wila lucky, Ketu, Moroko lucky, Chojlla, Wila torillo wajra, Pinku lucky y Peraza, respecto a la altura se encuentra en los rangos de 3850 a los 4350 msnm (Oropeza, 2008). Las variedades de papa son expandidas en áreas y protegidos con pajas con la finalidad de que se realice el proceso de congelación por un periodo de tres noches, luego del congelado se les extrae el agua artesanalmente por pisoteo, luego se realiza la segunda congelación y después se seleccionan en base a su calidad, la característica más importante del chuño es su larga vida útil (Burgos *et al.*, 2009; Jallaza, 2007). Pero en este proceso también existen pérdidas fenólicas (Andre *et al.*, 2014). Así mismo, se menciona que la elaboración de chuño consiste en congelación, descongelación, extracción de agua y secado, Figura 2 (Haan *et al.*, 2010).

La baja humedad que posee el chuño es una de sus características más importantes, esto se debe a los procesos de deshidratación a los que son sometidos, luego del secado la papa puede perder hasta el 85 por ciento del agua, aumentando así su vida útil, la variedad de papa, el tamaño y el tiempo de secado son parámetros que se tienen que tener en cuenta para asegurar la calidad del producto final (NTP, 2007). Las papas luego de los procesos de congelación y descongelación se convierten en chuño o tunta según sea el caso, se recomienda que las harinas de tunda deben de contener 16 por ciento de humedad como máximo y el chuño un 14 por ciento con la finalidad de mejorar la calidad del producto final (Fonseca & Ordinola, 2017; Quispe, 2009).

Rea & Vacher, (1992) mencionan que tanto la tunta como el chuño tienen que contener bajo porcentaje de humedad menor al 12 por ciento, esta afirmación se sustenta porque el proceso para obtener chuño está relacionado con el secado al sol, así mismo se evita el crecimiento de microorganismos y la vida útil se alarga significativamente. Porcentajes bajos de humedad en muestras de harina de papa oscilaron entre 10.92 por ciento (Ceron, Bucheli, & Osorio, 2014); la diferencia en los porcentajes de humedad se debe a los factores como el almacenamiento de dichas muestras, clima, postcosecha, procedencia, entre otros (Bonierbale, Amoros, Mihovilovich, & Gomez, 2004).

Respecto al porcentaje de ceniza del chuño, esta característica puede ser diferente a causa del uso de fertilizantes en variedades de papa amarga porque la ceniza es un componente fisicoquímico, entonces al utilizar fertilizantes los nutrientes de la papa pueden variar en especial los minerales (Gichuhi, Kokoasse, & Bovell-Benjamin, 2014). Córdova (2014) reporta 0.3 por ciento de ceniza para harina de papa, menciona que existen diferencia a causa del suelo en donde se realizó el cultivo, materia orgánica, y de igual forma esto afecta el porcentaje de nutrientes. Por otra parte, se recomienda que el porcentaje de proteína del chuño y la papa sea menor para que la absorción de humedad sea menor, para muestras de harina de papa se reportan valores de 1.63 por ciento de proteína (Ceron *et al.*, 2014; Kamal, Islam, & Aziz, 2014).

Los procesos de congelación de las papas nativas desde hace muchos años se llevan a cabo con la finalidad de obtener chuño, este alimento se le atribuye el nombre de chuño liofilizado de forma natural porque implica la congelación, descongelación y secado en el medio ambiente, sin el uso de tecnologías, su origen comenzó antes del período Tiwanaku I (400 a. C.) (Goldstein, 2003).

Durante la transformación de papa a chuño, la humedad va disminuyendo de forma significativa, los procesos de congelación y descongelación dañan los tejidos de las distintas variedades de papa, luego de descongelar la papa, el agua se elimina presionando dicho alimento, la deshidratación es un método muy importante para poder conservar los alimentos durante más tiempo (Peñarrieta, Salluca, Tejada, Alvarado, & Bergenstahl, 2011).

La exposición de las variedades de papas nativas a bajas temperaturas durante la noche y altas temperaturas durante el día se considera una técnica muy importante para obtener chuño, sin embargo, estas temperaturas ya sean altas o bajas, no son constantes en el tiempo, es por ello que una alternativa para mantener la temperatura de congelación de forma constante es el uso de equipos como las congeladoras, así mismo buscar métodos para extraer el agua que no comprometan la inocuidad del producto final, porque de forma tradicional se tiene que pisar las papas descongeladas para poder extraer el agua, la finalidad de elaborar chuño se fundamenta en la seguridad alimentaria y la vida útil del alimento en mención (Christiansen, 1967).

Las características fisicoquímicas de las papas y chuño son muy diferentes, especialmente resalta el porcentaje de agua que se pierde durante la deshidratación de la papa para poder obtener chuño, esto se debe a que los cristales de hielo formados originan el rompimiento y alejamiento de las paredes citológicas, causando la pérdida de la distribución física de los tejidos de la papa, proporcionando el traslado del agua (Qian *et al.* 2022); la ruptura de las paredes citológicas consecuencia del proceso de congelación y descongelación propios de la elaboración de chuño ocasiona la extracción del agua de dicho tubérculo cuando se aplica presión manual, la extracción de agua ocasiona la pérdida de algunos compuestos nutricionales por arrastre (Ando *et al.*, 2019; Chassagne-Berces, Fonseca, Citeau, & Marin, 2010).



**Figura 2. Chuño**

FUENTE: Haan *et al.* (2010).

## 2.4. ALMIDÓN DE PAPA

Los gránulos de almidón de papa contienen propiedades funcionales muy importantes como la alta viscosidad, claridad del propio gel, poder de hinchamiento, alto contenido de fósforo, tamaño significativamente mayor dependiendo de la variedad y retrogradación con tendencia baja (Noda *et al.*, 2006; Sandhu & Singh, 2007; Zhou *et al.*, 2014).

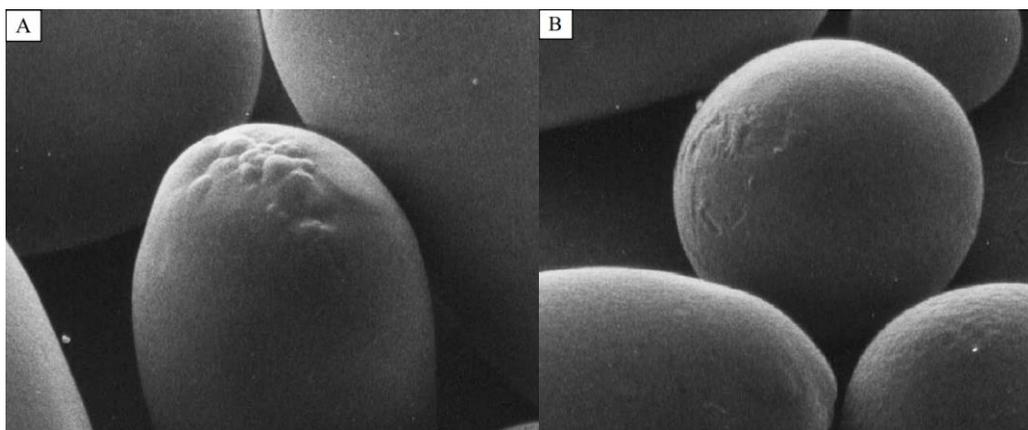
El contenido mineral, tamaño granular, contenido de amilosa elevado, distribución y contenido de ésteres elevado de los gránulos de almidón le proporcionan una calidad sobresaliente en los gránulos de almidón, estas características son muy importantes en las características fisicoquímicas y funcionales (Kaur, Singh, Ezekiel, & Guraya, 2007; Singh, Kaur, & Singh, 2004; Zhou *et al.*, 2014).

Las características morfológicas de los gránulos de almidón, forma, estructura y tamaño dependen de la variedad de papa, la identificación del almidón se puede realizar utilizando un microscopio, respecto al tamaño la papa y plátano se caracterizan por tener almidones de gran tamaño a diferencia de la avena y arroz, así mismo, la forma puede ser angular, esférica, ovoide, y de forma irregular (Elliason, 2006; Singh & Kaur, 2009).

Los gránulos de almidón de papa tienen tamaños mayores que oscilan entre 20 a 110  $\mu\text{m}$  y tamaños menores que oscilan entre 1 a 20  $\mu\text{m}$ , a diferencia de otras fuentes botánicas el tamaño de los gránulos de almidón puede variar significativamente en cada variedad de papa, se menciona que la el tamaño se relaciona con la forma, es decir para gránulos de almidón con tamaños mayores su forma puede ser irregular, elipsoidal o cúbica a diferencia de tamaños menores con formas ovales y esféricas, así mismo, la variación en la forma se puede deber a que no existe suficiente espacio en las células de los tubérculos (Singh & Kaur, 2009).

Durante el desarrollo del tubérculo se establece el almidón sintasa que puede alterar la forma y tamaño de los gránulos de almidón en (Blennow *et al.*, 2005; Singh & Kaur, 2009). Los plástidos proporcionan características físicas específicas, así mismo las membranas, las cuales pueden generar formas y tamaños diferentes, cualidades que influyen significativamente en los almidones (Singh & Kaur, 2009). Jaspreet Singh *et al.* (2006) reportan fragmentación y protuberancias en gránulo de almidón.

El tamaño de los almidones de papa guarda relación con sus propiedades como el poder de hinchamiento, claridad, digestibilidad y contenido de amilosa, siendo estas características muy importantes en la caracterización de los gránulos de almidón (Singh & Kaur, 2009). En la Figura 3 se muestra los gránulos de almidón de papa.



**Figura 3. Barrido de micrografías electrónicas (SEM) (a) protuberancia en almidón de papa y (b) la superficie fragmentada de almidón de papa.**

FUENTE: Singh *et al.*, (2006).

El almidón está conformado por unidades de  $\alpha$ -D-glucosa, se caracteriza por estar entrelazadas en 1-4 ó 1-6, y de forma general la amilosa y amilopectina son los componentes de dicho polímero (Baltes, 2007). El rendimiento de extracción de almidón depende de muchos factores como la madurez del tubérculo, porque al terminar la cosecha las distintas variedades de papa al contener almidón este se hidroliza (Zarate-polanco *et al.*, 2013).

Así mismo el porcentaje de almidón que contienen los tubérculos disminuyen de forma progresiva cuando comienzan a madurar, es por ello que se recomienda que la extracción de almidón se realice luego de la cosecha de dicho tubérculo con la finalidad de obtener rendimientos de almidón elevados (Arcila, Giraldo, Celis, & Duarte, 2002). Barrera *et al.* (2004) mencionan que existe una relación entre el tamaño de los gránulos de almidón y su rendimiento.

Por otra parte, el rendimiento se puede ver afectado a causa de pérdidas que se originan durante el proceso de extracción a nivel laboratorio (Zarate-polanco *et al.*, 2013). Garnica, Contreras, Romero, & Del Socorro (2010) afirman que el rendimiento de extracción puede disminuir a causa de las irregularidades en la forma de los tubérculos, esto no permite que se retire la cáscara de forma eficiente y origina pérdida de almidón, dicha pérdida puede llegar al 20 por ciento en relación al peso de la papa. Barrera *et al.* (2004) mencionan que el rendimiento es mayor en papas con forma regular en comparación a papas con forma irregular, de igual forma su tamaño, dicho rendimiento oscila entre 8.51 a 16.00 por ciento.

En este sentido se reportan rendimientos elevados en almidones de tunta que oscilaron entre 33.29 a 69.61 por ciento dicho rendimiento se relaciona con el uso de 0.20 % NaOH y 2500 RPM, así mismo para almidones de chuño se alcanzaron rendimientos de 44.89 a 73.28 por ciento donde se utilizó 0.25 % NaOH y 4500 RPM (Chilon & Mamani, 2019). Rendimientos en almidones de papa oscilaron entre 54.33 a 58.78 por ciento (Espinoza, 2012); datos muy similares según lo reportado por Forsyth *et al.* (2002) para almidones de papa alcanzando un 58.6 por ciento. En almidones de *Solanum tuberosum andigena* se reportó 50.77 a 76.32 por ciento y 52.31 a 77.76 por ciento para *Solanum tuberosum Phureja* (Rodríguez, 2013). De igual forma Hoover, (2001); Vargas (2015) reportaron rendimientos de 32 y 16.50 por ciento para almidones de papa respectivamente.

## **2.5. ALMIDÓN RESISTENTE**

Koteswara *et al.*, (2014) afirman que los almidones resistentes se fermentan en el intestino grueso puesto que en el intestino delgado no puede digerir, se le atribuye el término funcional porque además de sus propiedades nutricionales otorga características específicas cuando son consumidas, las fuentes pueden ser tubérculos, granos de cereales, legumbres y raíces, para la formación del almidón retrogradado se pueden utilizar métodos como gelatinización, calentamiento, extrusión cíclica, enfriamiento y esterilización. El contenido de almidón resistente propio de un alimento puede ser afectado por las características morfológicas, enfriamiento, contenido de amilosa y amilopectina, almacenamiento y calor (Goñi, García-Díaz, Mañas, & Saura-Calixto, 1996).

El origen botánico influye en la cantidad de almidón resistente, de igual forma la estructura cristalina de la amilosa, tipo, distribución de las cadenas y pesos moleculares también son variables que influyen significativamente (Goñi *et al.*, 1996; Morales-Medina, Del Mar, Guadix, & Guadix, 2014). El contenido de almidón resistente puede manifestar cambios favorables sometándose a procesos como congelación y secado, calentamiento y enfriamiento, en los cuales se tiene que cambiar el tiempo, temperatura y pH (Sajilata *et al.*, 2006). El almidón resistente resiste el proceso de digestión llevado a cabo por la  $\alpha$ -amilasa y proceden a actuar como fibras dietéticas en dicho proceso, lo cual genera en el colón bacterias beneficiosas (Lertwanawatana, Frazier, & Niranjan, 2015).

### **2.5.1. Tipos de almidón resistente**

Los almidones resistentes se dividen en cuatro, el almidón resistente tipo I se encuentra en semillas enteras o parcialmente molidas es inaccesible a causa de la estructura de la propia semilla, el tipo II o almidón granular está compuesto de gránulos no gelatinizados y se encuentra en estado natural, el tipo III o retrógrado se caracteriza por pasar por procesos de cristalización y enfriamiento luego de ser calentado, el tipo IV o almidón modificado tiene características diferentes respecto a su almidón nativo (Wang, Tang, Chen, & Huang, 2014).

### **2.5.2. Aplicaciones industriales del almidón resistente**

Los almidones resistentes se pueden utilizar en la industria alimentaria porque contienen características muy importantes, tienen un tamaño pequeño, menor capacidad para retener agua, viscosidad, poder de hinchamiento, formación de geles, en tal sentido se puede sustituir la harina por este tipo de almidón, el uso radica en productos extruidos y horneados (Sajilata *et al.*, 2006).

## **2.6. COMPOSICIÓN DEL ALMIDÓN**

El almidón está conformado generalmente por dos polisacáridos amilosa y amilopectina, el contenido está en los rangos de 23 a 31 por ciento para el primer componente, se menciona que los ácidos grasos libres, fosfolípidos, enzimas, proteínas, y monoéster de fosfato también son componentes del almidón (Bemiller & Wistler, 2009; Elliason, 2006).

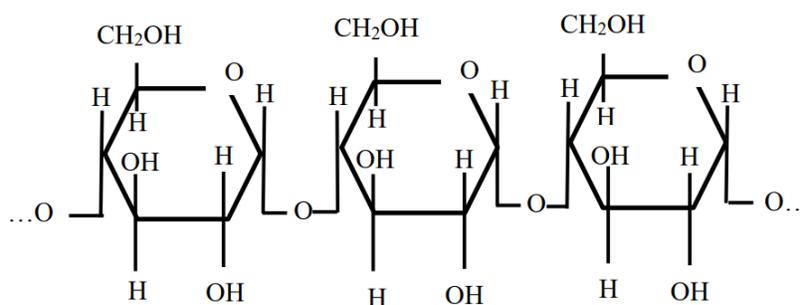
Los componentes menores se les considera parte de la composición del almidón, en dicho polímero se presentan los grupos fosfato que están en la relación de 1 éster equivalente a 200 unidades de glucosa los cuales están unidos por enlaces covalentes al polisacárido mayoritario que vendría a ser la amilopectina, este es una característica muy importante que aumenta de manera favorable la calidad de las propiedades de los gránulos de almidón de tubérculos como la papa, a diferencia de otros tipos de almidones que contienen cantidades mínimas de fosfatos con enlaces covalentes, se reportan trazas de cationes como parte de la composición del almidón (Singh & Kaur, 2009), en los grupos fosfato se suelen unir los componentes menores (Elliason, 2006; Singh & Kaur, 2009).

### 2.6.1. Estructura química del almidón

El contenido de amilosa y amilopectina oscila entre 20 y 80 por ciento Aguilar, (2016). Se pueden diferenciar por la estructura, lineal y ramificada, para la amilosa y amilopectina respectivamente, así mismo, la fuente botánica influye en la distribución y organización de las estructuras de amilosa y amilopectina (Agama-Acevedo, Bello-Pérez, Pacheco-Vargas, & Evangelista-Lozano, 2015).

#### - Amilosa

Está desarrollada por componentes glucosídicos vinculadas por enlaces  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4), su peso molecular se encuentra entre 105 -106 Da. (Quiroga, 2008), el porcentaje que representa en el almidón oscila entre 20 a 30 por ciento (Martins, Gutkoski, & Martins, 2018). La energía es almacenada en la amilosa Aguilar, (2016), se presenta la estructura de la amilosa en la Figura 4.

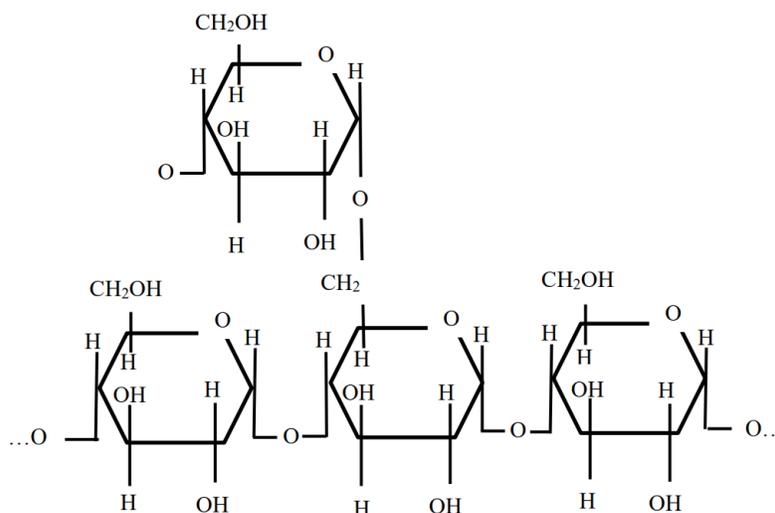


**Figura 4. Estructura de la amilosa**

FUENTE: Aristizábal & Sánchez (2007).

### - Amilopectina

Está desarrollada por componentes glucosídicos vinculadas por enlaces  $\alpha$ - (1→4) y  $\alpha$ -(1→6) en los lugares de divergencia, su peso molecular se encuentra entre ( $10^7 - 10^9$ ) (Quiroga, 2008), el porcentaje que representa en el almidón oscila entre 70 a 80 por ciento (Martins *et al.*, 2018), se presenta la amilopectina en la Figura 5.



**Figura 5. Estructura de la amilopectina**

FUENTE: Aristizábal & Sánchez (2007).

El contenido de amilosa y amilopectina influye significativamente en las propiedades del almidón tales como la viscosidad, retrogradación, solubilidad, gelificación y temperatura de gelatinización, entre otras (Schirmer, Hochstotter, Jekle, Arendt, & Becker, 2013).

Respecto a la modificación química del almidón, podemos mencionar que la modificación por acetilación es un método químico de sustitución, esto implica la introducción de un grupo acetilo en la cadena principal del gránulo de almidón nativo o polimérico, de esta manera las características fisicoquímicas, térmicas, reológicas, entre otros, pueden cambiar de forma significativa (Singh *et al.*, 2004).

### **2.6.2. Propiedades fisicoquímicas del almidón**

Los bajos contenidos de ceniza, lípidos y proteína son características de almidones con una pureza alta (Xu, Grizzard, Sismour, Bhardwaj, & Li, 2013). En la industria alimentaria existen procesos químicos, físicos y bioquímicos, en dichos procesos el contenido de agua puede influir de forma significativa generando cambios importantes, de igual forma las cualidades organolépticas y el contenido de nutrientes, en este sentido el porcentaje de humedad de los almidones debe ser menor al 20 por ciento (Przetaczek-Rożnowska, 2017).

Los tubérculos se caracterizan por contener almidones, los cuales están conformados por componentes minoritarios como los fosfolípidos y lípidos en comparación con otros alimentos que contengan dicho polímero (Bello-Pérez, Rodríguez-Ambriz, Sanchez-Rivera, & Agama-Acevedo, 2009; Moorthy, 2002). En este sentido las temperaturas de transición son más altas en almidones de arroz y maíz, porque en su estructura contienen ácidos grasos libres los cuales forman los complejos amilosa-lípido, a su vez se puede generar una retrogradación menor (Singh, Colussi, McCarthy, & Kaur, 2016). En relación a la información anterior, las propiedades de los almidones se relacionan con los lípidos porque interactúa con su estructura, en este sentido el hinchamiento de los almidones es limitado a causa de la formación de complejos lípido-almidón (Bello-Pérez *et al.*, 2009; Moorthy, 2002).

Respecto a la humedad de los gránulos de almidón valores inferiores al 20 por ciento son considerados como el límite superior que un almidón puede contener (Przetaczek-Rożnowska, 2017), se recomienda que la humedad de los almidones sea menor al 20 por ciento para asegurar el almacenamiento (Kemi, Mu, Chen, & Deng, 2013).

Así mismo, Falade & Christopher (2015) mencionan que la estabilidad de los almidones durante el almacenamiento se relaciona con su porcentaje de humedad, el cual debe de ser menor para tener una actividad de agua baja. Niveles de humedad elevados en muestras de almidón pueden ocasionar su deterioro y disminuir su calidad, el almidón puede contener de 6 a 20 por ciento de humedad, así mismo el porcentaje depende del tipo de secado (Moorthy, 2002).

Otros estudios mencionan que la alta estabilidad de los almidones cuando son almacenados depende de los niveles inferiores de humedad (Yousif, Gadallah, & Sorour, 2012). La tunta y el chuño contienen almidones que poseen porcentajes de humedad bajos, según Lipa & Maquera (2013) reportan valores de 9.50 y 10.90 por ciento de humedad para almidones de tunta y chuño respectivamente, así mismo la baja humedad se sustenta en el proceso de secado al que son sometidos las variedades de papa para poder deshidratarse.

Según Pardo *et al.* (2013), mencionan que la variedad de papa puede influenciar en el porcentaje de humedad, estos se pueden encontrar entre 5.8 a 6.9 por ciento de humedad. Porcentajes más elevados se reportan por Martínez *et al.* (2015) donde oscilaron entre 14.15 a 15.62 por ciento de humedad. Przetaczek-Rożnowska (2017) afirman que la humedad debe de ser menor al 20 por ciento; para que puedan almacenarse y comercializarse adecuadamente (Kemi *et al.*, 2013).

Respecto a las cenizas de los gránulos de almidón, el bajo contenido de este componente es un indicador de que las muestras de almidón contienen una elevada pureza (Joshi *et al.*, 2013). Se reportan 0.44 por ciento de cenizas en muestras de almidón de papa (Alvis, Vélez, Villada, & Rada-Mendoza, 2008). Así mismo, porcentajes de cenizas que oscilan entre 0.24 a 0.44 por ciento para almidones de papa de seis variedades distintas (Pardo *et al.*, 2013). Para almidón de papa variedad Imilla Negra y variedad Locka se reportan 0.29 y 0.22 por ciento de cenizas respectivamente (Martínez *et al.*, 2019). Przetaczek-Rożnowska (2017) reportaron 0.21 por ciento para almidón de papa. El contenido alto de cenizas se relaciona con la cantidad de minerales de los almidones (Waterschoot, Gomand, Fierens, & Delcour, 2015).

De forma general el sodio, potasio, calcio y magnesio forma parte de la composición de las cenizas de los almidones (Yousif *et al.*, 2012). El porcentaje de cenizas para almidón de chuño y tunta osciló entre 0.45 y 0.29 por ciento (Chilon & Mamani, 2019). Lipa & Maquera (2013) reporta contenido de ceniza de 0.40 por ciento en muestras de almidón de tunta y 0.50 por ciento para almidones de chuño. Para almidón de papa se muestran 0.25 por ciento de cenizas (Gunaratne y Hoover, 2002).

Respecto a los lípidos de los gránulos de almidón, este componente puede afectar la calidad, propiedades funcionales y físicas de los almidones, porque originan la disminución de la capacidad de retención de agua, capacidad de hinchamiento y solubilidad, los cuales generan rancidez y formación de sabores desagradables durante el almacenamiento (Hidalgo & Micho, 2016). Así mismo, los lípidos pueden afectar el comportamiento reológico de los gránulos de almidón disminuyendo la viscosidad (Melian, 2010).

Se reportan contenidos de grasa que oscilan entre 0.04 a 0.14 por ciento (Thais-Paes *et al.*, 2015). Para almidón de papa variedad Locka y Imilla Negra 0.07 y 0.00 respectivamente (Martínez *et al.*, 2019). Alvis *et al.* (2008) reportan 0.35 por ciento de grasa para almidón de papa. Los lípidos que forman parte de la composición de los almidones pueden afectar la solubilidad, capacidad de retención de agua, claridad y poder de hinchamiento, esto origina cambios en las propiedades organolépticas de dicho polisacárido (Hidalgo & Micho, 2016). Así mismo los lípidos pueden afectar el color, también las propiedades reológicas a causa de la formación de amilosa-lípidos (Crowe, Seligman, & Copeland, 2000). Por otra parte, la disminución de viscosidad y fuerza en geles de almidón se ve influenciado por el contenido de lípidos en su composición (Melian, 2010).

Respecto a las proteínas de los gránulos de almidón, se menciona que dicho componente origina la disminución de su pureza porque afectan el sabor y aroma las cuales son características organolépticas muy importantes, así mismo las propiedades de hinchamiento y gelatinización se ven afectadas (Moorthy, 2002). Las proteínas con característica soluble, azúcares, aminoácidos y sales se pierden durante el proceso de extracción de almidón porque en dicho proceso se utiliza agua (Grommers & Van Der Krogt, 2009).

El porcentaje de proteína de un almidón debería de tener valores inferiores a 0.6 por ciento (Tester, Karkalas, & Qi, 2004). Se reportan porcentajes de proteína entre 0.25 a 0.40 por ciento para almidones (Ai & Jane, 2018). Así mismo se reporta 0.08 por ciento de proteína para muestras de almidón (Przetaczek-Rożnowska, 2017). Para almidón de papa variedad Abede y Única oscilaron entre 0.28 y 0.47 por ciento respectivamente (Vargas, 2015).

Respecto al contenido de amilosa que pueden tener los gránulos de almidón, Jan, Saxena, & Singh (2016) mencionan que la variación del contenido de amilosa se origina a causa del tiempo de cosecha, condiciones climáticas y tipo de suelo. Se reportan contenidos de amilosa entre 23.00 a 26.39 por ciento para almidón de papa que fueron cultivados en Virginia (Xu *et al.*, 2013). El contenido de amilosa se relaciona como el tamaño de los gránulos de almidón de forma proporcional, es decir mientras mayor sea el tamaño del gránulo mayor será el porcentaje de amilosa de dicho polisacárido (Kaur, Singh, & Sodhi, 2002).

Así mismo, Kaur *et al.* (2007) reportó que el contenido de amilosa para almidones de papa que tenían gránulos de almidón pequeños fue significativamente menor a comparación de tamaños medianos y grandes. Para almidón de chuño y tunta el contenido de amilosa osciló entre 20.21 y 14.89 por ciento (Chilon & Mamani, 2019). La amilosa proporciona características del almidón, porque existe amilosa de forma soluble que se localiza en la sección amorfa de dicho polímero (Moorthy, 2002).

Estudios mencionan que en la mayoría de los almidones modificados con anhídrido acético se mostró un contenido de amilosa ligeramente mayor en comparación con su homólogo, se reportan incrementos de amilosa en almidones modificados de papa con anhídrido acético que oscilaron entre 19.5 a 22.8 por ciento donde se utilizaron niveles de anhídrido acético entre 2 a 12 g por cada 100 g de almidón (Singh, Chawla, & Singh, 2004b).

El incremento de amilosa en almidones a causa de la acetilación también se observó anteriormente (Betancur, Chel, & Cañizares, 1997). La presencia de grupos acetilo obstruye o interfiere con las fracciones de amilosa y amilopectina de los gránulos de almidón, esto puede afectar la absorción de yodo durante el análisis de amilosa, es decir, al analizar este componente en almidones modificados y su homólogo, se puede presentar diferencia significativa (Betancur *et al.*, 1997; Whistler & Daniel, 1995). El contenido de amilosa se relaciona como el tamaño de los gránulos de almidón de forma proporcional, es decir mientras mayor sea el tamaño del gránulo mayor será el porcentaje de amilosa de dicho polisacárido (Kaur, Singh, & Sodhi, 2002).

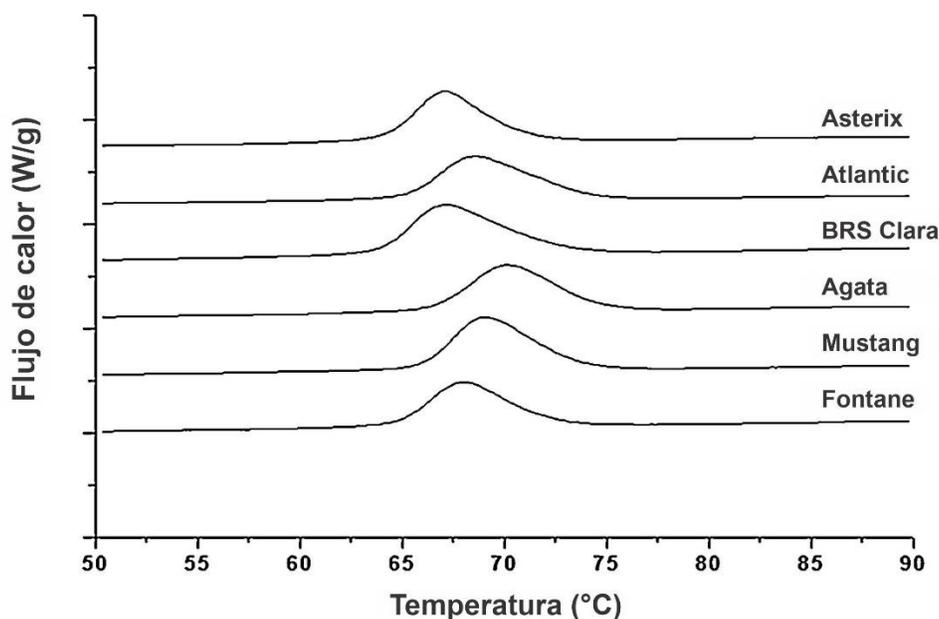
### 2.6.3. Propiedades térmicas del almidón

Durante la preparación y distribución de los alimentos se utilizan tratamientos térmicos para lograr las transformaciones deseadas, los tratamientos utilizados son la pasteurización, deshidratación, esterilización, cocción, evaporación y congelación, cuando son aplicados generan cambios en las características de los alimentos como su tamaño y forma, cambio en las propiedades funcionales, reológicas, fisicoquímicas, entre otras, que influyen en la aceptabilidad y calidad del mismo (Bemiller & Wistler, 2009).

Las temperaturas entre -50 y 300 °C genera cambios en las características de los alimentos, estos procesos térmicos son importantes, dichos procesos pueden tener un comportamiento endotérmico como la gelatinización, evaporación, fusión y desnaturalización, o pueden tener un comportamiento exotérmico como la oxidación, cristalización y fermentación (Raemy, 2003).

Una técnica muy importante que se puede utilizar es la calorimetría diferencial de barrido (CDB) en la cual se puede obtener datos de gelatinización de gránulos de almidón, así mismo, transiciones de fase a una determinada temperatura, también mide la energía que se necesita para formar una diferencial la diferencial de la temperatura cercado a valores de cero, donde se utiliza material como referencia y la muestra de estudio, las muestras son sometidas a temperaturas altas en un determinado tiempo (Gallagher, Brown, & Kemp, 1999).

Los parámetros de gelatinización al utilizar el calorímetro diferencial de barrido son las siguientes, entalpía de gelatinización ( $\Delta H$ ), temperatura inicial ( $T_o$ ), temperatura pico ( $T_p$ ) y temperatura final ( $T_f$ ), la energía de gelatinización es el área integrada bajo el pico de la transición térmica (Schirmer, Jekle, & Becker, 2015) y (Wani *et al.*, 2012). En la Figura 6 se muestra un termograma de calorimetría diferencial de barrido donde se observa la gelatinización de gránulos de almidón de papa (Thais-Paes, Leonel, Garcia, Do carmo, & Franco, 2015).



**Figura 6. Termograma de gránulos de almidón de papa**

FUENTE: Thais-Paes *et al.* (2015).

Una de las propiedades térmicas más importantes de los almidones es la gelatinización, en este sentido los gránulos almidón que entran en contacto con el agua y en presencia de calor originan cambios irreversibles a dicho polisacárido, el proceso de gelatinización comprende dos etapas, en la primera etapa la parte amorfa del almidón llega a ser hidratada ocurriendo una leve solubilización que puede originarse entre los 60 a 75°C, luego se destruye la región cristalina del almidón y la viscosidad incrementa, en este sentido las estructuras granulares llegan a destruirse, además el almidón se hincha a causa de amilopectina que en comparación con la amilosa y lípidos inhabilitan que los almidones se hidraten, en la segunda etapa ocurre la transición de fase de los gránulos de almidón a una temperatura de 90°C, en esta etapa los almidones que están hidratados se solubilizan en un 30 a 60 por ciento (Colonna, 2010; Kim *et al.*, 2017).

La gelatinización del almidón es muy importante porque nos da a conocer la transición endotérmica, dicha transición describe el cambio de la estructura, dejando de ser semi-cristalina y convirtiéndose en una estructura amorfa (Zhang *et al.*, 2014). El cambio de estructura consecuencia de la gelatinización del almidón origina muchos cambios como solubilidad, absorción de agua, pérdida de birrefringencia, viscosidad y fusión de la forma cristalina de forma irreversible (Quintero, Lucas, & Álzate, 2012).

La calorimetría diferencial de barrido es utilizada para obtener los parámetros de gelatinización con un alto grado de precisión (Chen, Zhou, Yang, & Cui, 2015; Yuan, Zhang, Dai, & Yu, 2007). Las transiciones endotérmicas de los almidones nos dan a entender que a estas temperaturas las moléculas de la amilosa que son polímeros de bajo peso molecular comienzan a separarse de los gránulos de almidón, mientras la temperatura aumenta los gránulos de almidón sufren un colapso que finalmente origina que la amilosa (parte amorfa) se solubiliza en su totalidad y la parte cristalina de los gránulos de almidón se conservan o mantienen en la solución acuosa (Coral, 2007).

Sulbarán *et al.* (2018), modificaron almidón de millo utilizando niveles de anhídrido acético de 5, 10 y 15 ml obteniendo temperaturas de gelatinización para almidón de millo sin modificar de 71.41 °C el cual disminuyó al ser modificado con los niveles ya mencionados, donde se obtuvo 64.42, 64.12 y 61.83 °C para los niveles de modificación de 5, 10 y 15m de anhídrido acético, así mismo mencionan que la disminución de la temperatura de gelatinización al incrementar la cantidad de anhídrido acético se debe al daño de las estructuras del almidón, esto origina la interrupción de las dobles hélices en las regiones amorfas de los gránulos de almidón debido a los grupos acetilo que constituyen parte de la estructura del gránulo de almidón a causa de la acetilación, esto a su vez genera la disminución de las tensiones de los grupos hidroxilo que se encuentran en los almidones sin modificar.

Por otra parte, en la investigación realizada por Rivas-González, Zamudio-Flores, & Bello-Pérez (2009) realizaron la modificación de almidón de plátano utilizando 50 g de dicho almidón y mezclando con 400 ml de anhídrido acético con tiempos de reacción de 30min y 5h, el almidón de plátano acetilado mostró una disminución en la temperatura inicial, pico y entalpía de gelatinización, el valor de la entalpía del almidón nativo de plátano fue de 12.78 J/g, este valor disminuyó a causa de la acetilación con valores entre 7.76 a 10.49 J/g; en este sentido la acetilación de un almidón nativo origina la desorganización parcial de dicho almidón.

La gelatinización guarda estrecha relación con la estructura de la amilopectina, orden de los cristales, grado de ramificación, relación de en zonas amorfas, cristalinas y la longitud de las cadenas (Tester & Morrison, 1990). En tal sentido la entalpía muestra la pérdida del orden de dobles hélices y la cristalinidad en menor medida (Cooke & Gidley, 1992). Así mismo, las propiedades térmicas pueden cambiar a causa de grupos sustituyentes hidrofílicos presentes en el gránulo de almidón y al aumento de enlaces hidrógeno en los almidones, es por ello, que la temperatura de gelatinización puede disminuir (Eliasson, Finstand, & Ljunger, 1988; Hoover & Sosulski, 1985; Liu, Ramsden L., & Corke, 1997; Singh, Chawla, & Singh, 2004a). Wootton & Bamunuarachchi (1997) en su investigación realizaron la acetilación de cadenas de polímeros originando que su estructura se desestabilice, consecuencia de esto la temperatura de gelatinización disminuyó.

#### **2.6.4. Propiedades reológicas**

Los distintos materiales biológicos contienen componentes que son viscoelásticos como el material extracelular, células, entre otros, para que podamos obtener los valores de la viscoelasticidad tenemos que hacer uso de reómetros que ejerzan un movimiento oscilatorio sobre las muestras de estudio, por otra parte, la viscosidad y elasticidad son propiedades propias de fluidos y sólidos puros respectivamente las cuales dependen de diferentes respuestas al movimiento oscilatorio respectivo (Sasaki, 2012).

Existe muchas técnicas para el estudio de la viscosidad y elasticidad de los gránulos de almidón en presencia de temperatura, en los estudios de las características reológicas se utilizan temperaturas menores a 95 °C y distinta velocidad de corte, el equipo donde se realizan muchos estudios reológicos es utilizando un reómetro dinámico en donde se estudia los módulos de almacenamiento y pérdida que se originan en suspensiones de gránulos de almidón (Cui, 2005). Los fluidos son sustancias que muestran una deformación continua en presencia de esfuerzos cortantes (Ramirez, 2006).

Los fluidos Newtonianos se caracterizan por tener el mismo valor de viscosidad en cualquier velocidad de cizallamiento, sin embargo, la viscosidad de un fluido newtoniano cambia a medida que la velocidad de cizallamiento cambia (Brummer, 2006).

La deformación y el flujo son estudiados por la reología, es decir, los alimentos tienen características reológicas que están en función de su flujo y deformación en presencia de esfuerzos cortantes, los alimentos pueden tener características únicas como los geles, emulsiones, líquidos homogéneos, sólidos y suspensiones de sólidos, los alimentos adquieren la forma del recipiente y su forma si cambia son fluidos, estos alimentos pueden tener un comportamiento no newtoniano si contienen polímeros y sólidos, las características que pueden presentar son elasticidad y viscosidad originando un comportamiento del tipo viscoelástico (Rao, 2014).

En el estudio realizado por Siroha *et al.* (2019), realizaron la modificación de almidones de mijo perla utilizando niveles de anhídrido acético de 1.25, 2.5, 3.75 y 5 por ciento, los resultados muestran valores de umbral de fluencia ( $\sigma$ ) de 25.5 Pa para el almidón nativo de mijo, respecto a los almidones acetilados el umbral de fluencia ( $\sigma$ ) osciló entre 26.6, 35.8, 37.1 y 50.7 Pa para los niveles de anhídrido acético de 1.25, 2.5, 3.75 y 5 por ciento respectivamente, se observa un incremento en este parámetro reológico a medida que la concentración de anhídrido acético incrementa. Liu, Ramsden, & Corke (1999) mencionan que las interacciones entre las cadenas del almidón se pueden reducir a causa de la acetilación, debido a la presencia de componentes hidrófilos debilitando la estructura del almidón, consecuencia de esto se origina un incremento en la solubilidad y poder de hinchamiento.

Respecto al umbral de fluencia ( $\sigma$ ) para geles de almidón de papa nativo y modificado fueron significativamente mayores cuyos valores oscilaron entre 23.91 a 67.83 Pa, a comparación de los geles de almidón de chuño nativo y modificado que oscilaron entre 1.55 a 15.72 Pa; esto significa que los geles de almidón de papa nativo y modificado son más fuertes porque requieren un esfuerzo inicial mayor para que puedan fluir, esta característica se puede relacionar con el alto contenido de amilosa (Velásquez-Barreto & Velezmoro, 2018). También, se observó que los geles de almidón de chuño nativo y modificado han requerido esfuerzos menores durante el cizallamiento inicial para que dicho gel pueda fluir, esto se debe a que estos geles tienen una estructura de red débil y a la mínima intensidad de fuerzas de atracción (Bortnowska *et al.*, 2014).

Para obtener el flujo del fluido se necesita el valor del umbral de fluencia que representa el esfuerzo para obtener dicho flujo (Guo *et al.*, 2015). Se reportan esfuerzos de fluencia inicial para gránulos de almidón de yuca 4.02 Pa (Nwokocha, Aviara, Senan, & Williams, 2009); y 8.62 Pa para gránulos de maíz (Rosalyn *et al.*, 2007).

En el estudio realizado por Siroha *et al.* (2019), realizaron la modificación de almidones de mijo perla utilizando niveles de anhídrido acético de 1.25, 2.5, 3.75 y 5 por ciento, los resultados muestran valores de comportamiento de flujo ( $\eta$ ) de 0.320 para el almidón nativo de mijo, respecto a los almidones acetilados el comportamiento de flujo ( $\eta$ ) osciló entre 0.275, 0.310, 0.305 y 0.308 para los niveles de anhídrido acético de 1.25, 2.5, 3.75 y 5 por ciento respectivamente, se observa que los almidones acetilados tienen valores de comportamiento de flujo ( $\eta$ ) menores a comparación del su almidón nativo. El comportamiento de flujo a causa del cizallamiento se origina por la alineación de forma progresiva de las moléculas de almidón solubles que se orientan en dirección al flujo, además se origina la ruptura de enlaces hidrógeno que están presentes en las moléculas de amilosa (McGrane, Mainwaring, Cornell, & Rix, 2004).

El índice de comportamiento de flujo ( $\eta$ ) es un parámetro que indica la desviación de la muestra del flujo Newtoniano ( $\eta=1$ ) (Sikora, Kowalski, Tomasik, & Sady, 2007). Los valores del índice de comportamiento de flujo ( $\eta$ ) de los almidones nativos y modificados oscilaron entre 0.49 a 0.80; estos valores indican que todos los geles de almidón mostraron un comportamiento no Newtoniano de naturaleza pseudoplástica porque su ( $\eta < 1$ ) con un esfuerzo inicial característico (Przetaczek-Rożnowska, 2017). El comportamiento pseudoplástico de los almidones representa la ruptura de los enlaces de la estructura de dicho polisacárido en presencia de agua, el almidón soluble se orienta en la dirección del flujo y el quebrantamiento de las uniones de hidrógenos que se constituyen por las moléculas de amilosa mientras ocurre el cizallamiento (Sandhu & Siroha, 2017; Sun & Yoo, 2015). El índice de consistencia al igual que el parámetro anterior umbral de fluencia dependen de factores como la temperatura, tamaño del gránulo de almidón, propiedades funcionales, entre otros (Przetaczek-Rożnowska, 2017).

El índice de consistencia (K) de los almidones nativos y modificados de papa y chuño oscilaron entre 1.54 a 20.46 Pa.sn. El índice de consistencia (K) es un parámetro que se utiliza como criterio de viscosidad (Sikora *et al.*, 2007), también es un indicador de la viscosidad inicial de los geles de almidón (Przetaczek-Rożnowska, 2017). Se reportan valores de 6.86 a 15.75 Pa.sn. para gránulos de almidón de papa y tunta (Cuba, 2021). Valores mayores son reportados por Peña (2017) donde oscilaron entre 5.01 a 43.72 Pa.sn. Por otra parte, Przetaczek-Rożnowska (2017) reporta 3.95 Pa.sn. Para almidón de papa se reporta un valor de 3.40 Pa.sn.

En el estudio realizado por Siroha *et al.* (2019), realizaron la modificación de almidones de mijo perla utilizando niveles de anhídrido acético de 1.25, 2.5, 3.75 y 5 por ciento, los resultados muestran valores de índice de consistencia (K) de 31.3 Pa.sn para el almidón nativo de mijo, respecto a los almidones acetilados el índice de consistencia (K) oscilo entre 52.8, 43.5, 44.4 y 49.0 Pa.sn para los niveles de anhídrido acético de 1.25, 2.5, 3.75 y 5 por ciento respectivamente, se observa un incremento significativo en los almidones acetilados, este incremento guarda relación con la viscosidad, es decir, la viscosidad es mayor en los almidones acetilados a comparación de su almidón nativo.

## **2.7. FRESA**

### **2.7.1. Origen y clasificación taxonómica**

El nombre de la fresa proviene del latín (*fragan*) fragante, es un fruto muy apreciado desde años atrás, se reportan su aparición desde escritos romanos hasta griego (Brazanti, 1989; Nunes, 2007).

La fresa se caracterizó por tener propiedades organolépticas importantes como su sabor intenso, su origen es europeo, tamaños grandes se reportan en Chile en el siglo XVIII, que hoy en día tiene el nombre de frutilla o fresa por su tamaño particular, en relación a su rendimiento la siembra se reporta en todo el mundo conociendo su nombre de forma general como “fresa” (MINAG, 2008). El híbrido de *F. virginiana* y *F. chiloensis* es un tipo de fresa de gran tamaño y en la actualidad se cultiva eficientemente, en relación a ello, su especie tiene el nombre de (*Fragaria x ananassa Duch*) (Baraona & Sancho, 1992; Brazanti, 1989).

La fresa se puede clasificar en base a su taxonomía, tal como se muestra a continuación (Nunes, 2007).

Subfamilia: Rosoideae

Familia Rosaceae

Orden: Rosales

Sub-Clase: Rosidae

Clase: Magnoliopsida

Sub Filo: Magnoliophyta

Filo: Antophyta

Reino: Plantae

Dominio: Eukarya

### **2.7.2. Descripción botánica**

Desde el punto de vista botánico es un fruto perenne con un rizoma o tallo semisubterráneo y una corona central o tallo modificado donde se ubican las yemas axilares que puede originar coronas secundarias encargadas de darle forma al fruto (Baraona & Sancho, 1992; Nunes, 2007).

Cuando las ramificaciones de la planta se desarrollan, tales como las raíces y hojas, adquiere la característica de intercambiar nutrientes y agua entre los frutos, esto permite continuar con el desarrollo, 10 a 12 estolones es producido por 1 coronó, los estolones generan estolones secundarios y raíces para que la producción de las plantas aumenta entre 4 a 6 por estolón (Baraona & Sancho, 1992).

Las hojas tienen bordes aserrados, son trifoliadas y compuestas, contienen estomas por milímetro cuadrado en un rango de 300 a 400, es una planta muy sensible a la luz, agua y humedad (Baraona & Sancho, 1992).

### 2.7.3. Valor nutritivo

La fresa contiene valores bajos en calorías, hidratos de carbono en cantidades mínimas, el contenido de vitamina C es elevado, elevado contenido de ácido oxálico, cítrico, salicílico y málico, contiene minerales como el magnesio y potasio, entre otros (Almenar, 2005). En la Tabla 5 se muestra la composición de la fresa.

**Tabla 5: Composición de la fresa por 100 g de porción comestible.**

| Componentes mayores | (g) |
|---------------------|-----|
| Agua                | 89  |
| Carbohidratos       | 7,5 |
| Proteínas           | 0,7 |
| Fibra               | 1,4 |
| Grasas              | 0,8 |
| Ceniza              | 0,5 |

FUENTE: Collazos *et al.* (1996).

### 2.7.4. Especies y variedades

La especie más desarrollada y sobresaliente es la *Fragaria vesca L.* que se encuentra en Asia y Europa de forma silvestre, también se reportan especies como *Fragaria moschata Duch.* y *Fragaria viridis Duch.*, procedentes del Norte de Asia y Europa, por su origen americano se reportan especies como la *Fragaria virginiana Duch.* y *Fragaria chiloensis Duch.*, las especies se dividen en cuatro grupos las cuales tienen 5 cromosomas de número base (Nunes, 2007).

Las variedades como Tajo, Camarosa, Chandler y Sern son las más cultivadas y su comercialización se reportan en los centros de abastos de Lima (MINAG, 2008). Las variedades de día corto se adaptan al clima del Perú exactamente en la región costa, donde son trasplantados en abril y mayo, las variedades de día neutro se siembran en cualquier mes como la variedad “Aromas”, las variedades de día corto se recomiendan para valles interandinos, sierra y valles abrigados (MINAG, 2008).

### 2.7.5. Parámetros de calidad de las fresas

La fresa luego de ser recolectada continúa con su metabolismo, al ser una fruta con una vida útil corta, la inactivación de su metabolismo, procesos fisiológicos y deterioro microbiológico tienen que ser controlados para aumentar la calidad y vida útil, los factores propios de la fruta y los factores extrínsecos como su respiración guardan relación con las características ya mencionadas, así mismo, la madurez, tamaño, temperatura entre otros factores pueden aumentar o disminuir su tasa de respiración, de igual forma, la humedad, microorganismos, envases, temperatura y luz pueden afectar la característica mencionada (Almenar, 2005).

#### - Respiración

Los rangos de tasa de respiración de la fresa oscilan entre (50-100 ml CO<sub>2</sub> · kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup> a 20°C), siendo estos valores relativamente altos en relación a la temperatura, maduración, periodo de almacenamiento, etileno, entre otros (Almenar, 2005). Las temperaturas de refrigeración disminuyen la tasa de respiración de las fresas, en este sentido la pérdida de peso también disminuye (Restrepo & Aristizábal, 2010).

La aplicación de recubrimientos comestibles aplicados a fresas, pueden incrementar las propiedades de barrera porque disminuyen la permeabilidad a los gases, también mencionan que, si reducimos la permeación de O<sub>2</sub> la actividad respiratoria, de forma directa puede limitar sustrato que está disponible para la respiración de O<sub>2</sub> y de forma indirecta puede reducir la síntesis de etileno que es una fitohormona que incrementa la respiración.

Por otra parte, las fresas son frutos no climatéricos; sin embargo, estudios mencionan que un incremento en la actividad respiratoria en fresas con un estado de madurez alto (Tosetti, Elmi, Pradas, Cools, & Terry, 2020), el incremento de la actividad respiratoria de este tipo de fruto se puede asociar al etileno presente en esta cuya síntesis es elevada en fresas muy maduras, la elección de fresas con el mismo grado de madurez es fundamental para obtener resultados con menor error estadístico al realizar los distintos análisis relacionados con este tipo de fruta (Sánchez-Sevilla *et al.*, 2017).

En el estudio realizado por Carvalho do Lago *et al.* (2023), aplicaron recubrimientos comestibles con bionanocompuestos a base de coproductos a fresas, la tasa de respiración  $\text{CO}_2$  se determinó utilizando 100g de muestra, un envase de vidrio con capacidad de 500ml, la muestra de fresa ya mencionada se colocó en los envases de vidrio herméticamente cerrados y luego de 3 horas la actividad respiratoria se determinó una vez cada 3 días por un periodo de 21 días de almacenamiento en refrigeración, en los primeros 18 días de almacenamiento la actividad respiratorio fue de 20 ml de  $\text{CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  aproximadamente, posteriormente incremento hasta llegar a 45 ml de  $\text{CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  a los 21 días de almacenamiento, se observó que los recubrimientos comestibles aplicados en el presente estudio incrementaron las propiedades de barrera porque disminuyeron la permeabilidad a los gases.

La reducción de permeación de  $\text{O}_2$  la actividad respiratoria, de forma directa puede limitar sustrato que está disponible para la respiración de  $\text{O}_2$  y de forma indirecta puede reducir la síntesis de etileno que es una fitohormona que incrementa la respiración; por otra parte, las fresas son frutos no climatéricos; sin embargo, estudios mencionan que un incremento en la actividad respiratorios en fresas con un estado de madurez alto (Tosetti *et al.*, 2020), el incremento de la actividad respiratorio de este tipo de fruto se puede asociar al etileno presente en esta cuya biosíntesis es elevada en fresas muy maduras (Sánchez-Sevilla *et al.*, 2017).

#### - Pérdida de peso

La pérdida de peso se relaciona con la tasa de transpiración de la fresa, consecuencia de esto se origina la disminución de agua del fruto, arrugamiento, alteración de la calidad sensorial, jugosidad y textura, el aspecto arrugado de las fresas se relaciona con la pérdida del 5 por ciento de su peso inicial, porque las fresas tienen una piel muy sensible y fina por lo tanto su barrera exterior no puede detener el agua que pierde durante la transpiración del fruto (Almenar, 2005). El parámetro que se relaciona con la pérdida de agua consecuencia de la respiración y transpiración es la pérdida de peso (Guerreiro, Gago, Faleiro, Miguel, & Antunes, 2015).

Estudios mencionan valores de pérdida de peso que oscilan entre 15.52 a 23.62 por ciento luego de 12 días de almacenamiento de recubrimientos a base de nanoemulsión de quitosano, pectina y aceite esencial de limón los cuales fueron aplicados a fresas, así mismo los valores altos de permeabilidad al vapor de agua se debe a la estructura, irregularidades y rugosidad de la superficie de los recubrimientos comestibles, la muestra control obtuvo un porcentaje de pérdida de peso de 15.52 por ciento, sin embargo las demás muestras no tuvieron diferencias significativas, las fresas tienen una piel muy permeable y fina, estas dos características ocasionan la pérdida de agua y cambios en su estructura (Abdalla *et al.*, 2023).

Así mismo, Guerreiro *et al.* 2015; Perdonés *et al.* (2012) reportan resultados similares, luego de 14 días la pérdida de peso no fue significativa. Por otra parte, la temperatura influye significativamente en la pérdida de peso, se reporta 18.13 y 13.27 al día 5 y 2 de almacenamiento con temperatura de 5 y 20°C respectivamente para fresas sin recubrimiento (Muley & Singhal, 2020).

#### - Contenido de sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles es un conjunto de azúcares y ácidos orgánicos como la fructosa, glucosa, sacarosa y ácido cítrico, ácido málico y ácido succínico respectivamente, el contenido de estos componentes depende de las variedades de fresa, durante el periodo de post cosecha de las fresas el contenido de sólidos solubles disminuye a causa de la respiración, porque el fruto hace uso de azúcares que se originan en la hidrólisis de la sacarosa (Almenar, 2005).

Estudios mencionan cambios en los °Brix en fresas que fueron aplicados con recubrimientos con valores en el día 0 que oscilan entre 8.7 a 9.7 por ciento en comparación al día 14 de almacenamiento donde oscilan entre 6.7 a 8.7 por ciento (Zhang *et al.*, 2022). El contenido de °Brix en fresas con y sin recubrimiento disminuye en el almacenamiento a causa del propio metabolismo del fruto, se reportan cambios en los °Brix con valores en el día 0 que oscilan entre 11.29 a 11.51 por ciento en comparación al día 24 de almacenamiento donde oscilan entre 9.41 a 10.32 por ciento, el grado de madurez del fruto implica un cambio en esta característica (Hang, Thi, Ngwane, Tanaka, & Tanaka, 2024).

Por otra parte, se reportan cambios de 5.3 a 13.5 por ciento en fresas (Gol, Patel, & Rao 2013; Shankar, Khodaei, & Lacroix 2021; Velickova, Winkelhausen, Kuzmanova, Alves, & Moldão-Martins 2013; Wang *et al.* 2019). La respiración de las fresas podría influir en el contenido de °Brix durante el periodo de almacenamiento (Velickova *et al.*, 2013).

Especialmente, la sacarosa es una fuente de dulzor muy importante de las frutas, los niveles de sacarosa en las fresas tienden a disminuir a medida que incrementa el almacenamiento, en este sentido se observa una disminución de la actividad metabólica que degrada la sacarosa, por la acción de enzimas como la invertasa ácida o sacarosa sintasa (Liu, Zheng, Sheng, Liu, & Zheng, 2018).

#### - Potencial de hidrógeno (pH)

Luego de la recolección de las fresas el pH no cambia significativamente, factores como la temperatura, tasa de respiración, entre otros no originan cambios significativos en esta característica, el CO<sub>2</sub> no influye en el pH de los frutos porque este gas se transforma en ácido carbónico y se separa en el citoplasma, que origina permutaciones en el pH absorbido a causa de los tampones que tienen los tejidos, así mismo, las vacuolas pueden originar un pH bicarbonatado lo cual aumentaría dicho valor, sin embargo, los cambios mencionados pueden ser neutralizados por los ácidos orgánicos que tienen la capacidad de actuar como tampón (Almenar, 2005).

Estudios mencionan que presentó cambios en el pH en fresas que fueron aplicados con recubrimientos con valores en el día 0 que oscilan entre 3.4 a 3.7 en comparación al día 14 de almacenamiento donde todos los tratamientos tuvieron una pH de 3.6, las fresas sin recubrimiento siguen experimentando cambios químicos a diferencias de fresas con recubrimiento donde se disminuye su metabolismo (Zhang *et al.*, 2022). El pH de las fresas oscila entre 3.0 a 3.7 según la variedad (Campos-Requena *et al.* 2017; Perdonés *et al.* 2012). Se observó que el pH de las fresas aumentó gradualmente durante el período de almacenamiento de 24 días, se reportan cambios en el pH en fresas que fueron aplicados con recubrimientos con valores en el día 0 que oscilan entre 3.18 a 3.20 en comparación al día 24 de almacenamiento donde el pH osciló entre 3.47 a 3.59 (Hang *et al.*, 2024).

#### - Acidez titulable

El contenido de ácido cítrico es el más exuberante en la fresa, continua el ácido málico, ácido succínico y ácido ascórbico, entonces los valores de acidez titulable se presentan en cantidad del ácido mayoritario (Martínez *et al.*, 2008). Este parámetro de calidad es importante para conocer la maduración del fruto, donde se relacionan los sólidos solubles y la acidez (Almenar, 2005).

Durante el almacenamiento la acidez disminuye y se relaciona con la temperatura de almacenamiento, duración, humedad relativa, fisiología y condiciones de luz (Yan *et al.*, 2019). Se reportan cambios en la acidez en fresas que fueron aplicados con recubrimientos con valores en el día 0 de (0.9 g ácido cítrico/100g) en comparación al día 14 de almacenamiento donde oscilan entre (0.8 a 1.2 g ácido cítrico/100g) (Zhang *et al.*, 2022). La acidez de fresas con y sin recubrimiento almacenadas a 5°C disminuyó de 0.3 a 0.18 y 0.2 por ciento en 5 y 8 días de almacenamiento, a diferencia de 20°C observándose 0.18 y 0.19 por ciento (Muley & Singhal, 2020).

Durante el almacenamiento poscosecha de fresas los ácidos orgánicos como ácido cítrico, el ácido málico y el ácido ascórbico (vitamina C) pueden disminuir a causa del proceso de respiración aeróbica propia de las células, en este sentido las fresas adquieren más dulzor (Drobek, Frac, Zdunek, & Cybulska, 2020); en relación a la información anterior, se menciona que el almacenamiento prolongado de fresas luego de la cosecha puede aumentar el dulzor de este tipo de fruto a causa de la disminución de los compuestos ácidos, así mismo, la tasa de respiración de las frutas puede ocasionar alteraciones metabólicas (Kim *et al.*, 2023).

La maduración y el crecimiento de los frutos están ligados a la intensidad de la respiración, de manera esquemática, el proceso respiratorio, que comprende una gran cantidad de reacciones metabólicas, se inicia en las hojas, que captan la energía solar y, mediante la fotosíntesis, almacenan compuestos orgánicos, una vez recolectado el fruto, este sigue vivo gracias a sus reservas, que, a través de la glucólisis y el ciclo de Krebs, se transforman mediante oxidación enzimática en productos primarios esenciales para la síntesis de nueva materia viva y para la generación de energía (Ortolá, 2020).

## **2.8. PROPIEDADES DE LOS RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES**

Los recubrimientos comestibles tienen propiedades muy importantes que tenemos que considerar como la permeabilidad al vapor de agua, capacidad de adsorción de agua, transparencia, permeabilidad a los gases, respuesta mecánica, brillo entre otros, estas propiedades se relacionan con los materiales que son utilizados en la elaboración de un recubrimiento, tipo de plastificante, espesor, entre otras (Guilbert, 1986). Las frutas y verduras luego de ser cosechadas tienen su metabolismo activo, por lo tanto, siguen respirando y la permeabilidad a los gases de un recubrimiento tiene que ser eficiente (Pastor, 2010).

### **2.8.1. Permeabilidad al vapor de agua**

La permeabilidad al vapor de agua es la velocidad con la que dicho vapor se transporta a través de una superficie, donde se tiene que considerar el área, espesor, presión de vapor, humedad y temperatura, entre otras características (ASTM, 1995). Esta propiedad es importante porque nos da a entender los procesos de difusión y disolución del vapor en los recubrimientos o films (Pastor, 2010). El método que se puede utilizar para determinar la permeabilidad al vapor de agua de recubrimientos o films se base en la modificación de las técnicas ASTM E96-95 que se basan en el control de peso (McHugh, Avena-Bustillos, & Krochta, 1993).

Valores más reducidos de permeabilidad al vapor de agua muestran mayor eficiencia como barrera de gases, vapor de agua y prevenir la pérdida de agua de las frutas, se reportan valores de permeabilidad al vapor de agua que oscilan entre 5.95 a 11.92  $\text{g}\cdot\text{mm}/\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{kPa}$  de films a base de nanoemulsión de aceite esencial, polisorbato, pectina, glicerina, ácido acético y quitosano, este recubrimiento fue aplicado a fresas, así mismo los valores altos de permeabilidad al vapor de agua se debe a la estructura, irregularidades y rugosidad de la superficie de los recubrimientos comestibles (Abdalla *et al.*, 2023). La permeabilidad al vapor de agua es una propiedad de barrera contra los gases muy importante, es una característica propia de biopolímeros que son aplicados a matrices alimentarias como las frutas (Muley & Singhal, 2020).

Se reportan valor de  $0,282 \text{ g.mm/m}^2 \cdot \text{h.kPa}$  para recubrimientos a base de pectina (Mamani & Ferreira, 2011). Para evitar la pérdida de peso en términos de agua de las frutas se recomienda que los recubrimientos y/o películas comestibles tengan una permeabilidad al vapor de agua baja (Samsalee & Sothornvit, 2019). De acuerdo a la porosidad de las frutas, la permeabilidad al vapor de agua puede variar, se reportan valores de 21.46 a 31.15 por ciento (Muley & Singhal, 2020). Así mismo la variación de esta característica se relaciona con la densidad, peso molecular, orientación molecular y el grado de modificación (Dhumal, Pal, & Sarkar, 2019).

### **2.8.2. Permeabilidad a los gases**

Los alimentos que son sensibles a la oxidación de nutrientes, pigmentos, lípidos, vitaminas y vida útil de alimentos aplicados con recubrimientos, son afectados por la permeabilidad a los gases donde resaltan  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ , estos valores pueden ser obtenidos por equipos como analizadores de gases, cromatógrafos entre otros (Pastor, 2010). La eficiencia de los recubrimientos comestibles se relaciona con la capacidad para actuar como barrera, en este sentido los factores que tenemos que considerar son el espesor, reacción contra la humedad y temperatura, microestructura y otros factores que el alimento requiera (Odetayo, Tesfay, & Ngobese, 2022).

En la mayoría de las investigaciones donde se aplicaron recubrimientos comestibles a frutas y hortalizas la vida útil se incrementó, sin embargo, fue importante tener en cuenta factores como la compatibilidad con el alimento a recubrir y sus parámetros de calidad (Chettri, Sharma, & Mohite, 2023). Uno de los mecanismos más importantes para alargar la vida útil de alimentos que fueron aplicados con recubrimientos comestibles es la reducción de la respiración, específicamente los gases  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$  (Baldwin, Nisperos-Carriedo, & Baker, 1995). La respiración, producción de etileno y transpiración que realizan los alimentos pueden ser reguladas mediante la aplicación de recubrimientos comestibles (DeEll, Ayres, & Murr, 2007). La calidad de los alimentos es un parámetro muy importante para aumentar la vida útil (Han, 2014).

El uso de recubrimientos comestibles puede proteger a los alimentos del intercambio de oxígeno acelerado y cambio de la humedad, en este sentido la calidad se puede mantener (Nettles, 2006).

La maduración y el crecimiento de los frutos están ligados a la intensidad de la respiración, de manera esquemática, el proceso respiratorio, que comprende una gran cantidad de reacciones metabólicas, se inicia en las hojas, que captan la energía solar y, mediante la fotosíntesis, almacenan compuestos orgánicos, una vez recolectado el fruto, este sigue vivo gracias a sus reservas, que, a través de la glucólisis y el ciclo de Krebs, se transforman mediante oxidación enzimática en productos primarios esenciales para la síntesis de nueva materia viva y para la generación de energía (Ortolá, 2020).

La respiración aeróbica es un mecanismo muy importante, mediante este mecanismo se logra la degradación de forma oxidativa de muchos compuestos que están almacenados tales como las grasas, carbohidratos, ácidos orgánicos, los cuales se convierten en moléculas como  $\text{CO}_2$  y agua, de esta manera se libera energía, ATP y calor (Mangaraj & Goswami, 2011).

La tasa respiratoria es una característica muy importante de las frutas, refiere a la cantidad de oxígeno consumido o cantidad de dióxido de carbono liberado por cada kilogramo de fruta en un tiempo de una hora, esta tasa está influenciada por varios factores, tales como la temperatura, estado de desarrollo, composición atmosférica, tamaño del producto, daños mecánicos, presencia de etileno y el nivel de corte (Ortolá, 2020).

### **2.8.3. Aplicación de recubrimientos comestibles a frutas**

Los recubrimientos comestibles pueden alargar la vida útil de las frutas porque generan una barrera contra los gases, generan la estabilidad del fruto durante el almacenamiento convirtiéndolo en una técnica que en el futuro se pueda considerar (Pastor, 2010). Estos recubrimientos o films, también pueden mejorar la protección durante la manipulación y las características mecánicas (Shellhammer & Krochta, 1997).

Los recubrimientos más comunes son aquellos que se aplican a las frutas para sustituir la cera natural que se ha eliminado durante el lavado y cepillado de las mismas, procesos realizados con el fin de eliminar el polvo, la suciedad, las esporas de (Shellhammer & Krochta, 1997).

Se menciona que los recubrimientos son aplicados a muchas hortalizas y frutas como la zanahoria, espárrago, aguacate, fresa, pera, manzana, mango entre otros (Han, Zhao, Leonard, & Traber, 2004; Lima *et al.*, 2010; Mohammed Fayaz, Balaji, Girilal, Kalaichelvan, & Venkatesan, 2009; Saucedo-Pompa *et al.*, 2009; Tzoumaki, Biliaderis, & Vasilakakis, 2009). La característica general al aplicar recubrimientos en frutos es la reducción de la pérdida de peso a diferencia de muestras sin recubrimiento (Han *et al.*, 2004; Mohammed Fayaz *et al.*, 2009; Tzoumaki *et al.*, 2009), reducción de pérdida de nutrientes como las vitaminas (Brito, 2009; Navarro, 2009), antocianos y de forma general aumentar la vida útil de productos perecederos (Vargas, Albors, Chiralt, & González-Martínez, 2006).

Los productos mínimamente procesados son aptos para que se puedan aplicar recubrimientos comestibles (Pérez, 2003). La vida útil de las frutas y hortalizas se encuentra en los rangos de 5 a 7 días, hablando de productos mínimamente procesados, actualmente se realizan recubrimientos con capacidad antifúngica, antimicrobiana, entre otras características que mantengan o aumenten las características de los frutos que son recubiertos (Pastor, 2010).

El uso de recubrimientos comestibles para aumentar la vida útil de las frutas es un método muy efectivo, un recubrimiento comestible proporciona una barrera contra los gases (Vargas *et al.*, 2008). De forma general los recubrimientos se pueden aplicar de forma líquida sobre la parte externa de los alimentos, algunos métodos son mediante filtración, inmersión y pulverización (McHugh & Senesi, 2000). El almidón se puede utilizar como un material para la elaboración de recubrimientos comestibles porque presenta una estructura granular y sus componentes mayoritarios son la amilosa y amilopectina (Cano *et al.*, 2014).

Así mismo, el uso de un agente plastificante es importantes para aumentar su estabilidad, el glicerol es un plastificante muy utilizado en este sentido (Souza *et al.*, 2012), respecto a la reducción de la permeabilidad al vapor de agua en recubrimientos comestibles los tensoactivos como el polisorbato pueden ayudar a disminuir esta cualidad, porque son compuestos que tienen un extremo hidrofóbico y otro hidrófilo, en este sentido la tensión superficial disminuye (Chen *et al.*, 2009).

Estudios realizados por Beléndez (2017), menciona que la permeabilidad al vapor de agua osciló entre 21.1, 24.0, 27.0 y 44.8 g/Pa.s.m.10<sup>9</sup> para recubrimientos a base de almidón de maíz y tensoactivos, el recubrimiento a base de almidón de maíz obtuvo el mayor valor de permeabilidad al vapor de agua; se observó que el uso de tensoactivos disminuyó los valores de permeabilidad al vapor de agua debido al carácter anfifílico de los tensoactivos favoreciendo la reducción de esta propiedad de barrera (Chen *et al.*, 2009; Ortega-Toro, Jiménez, Talens, & Chiralt, 2014).

Matignon & Tecante (2017) mencionan que la proporción de amilosa y amilopectina presentes en los materiales de empaque a base de almidón es relevante porque el patrón de distribución de la longitud de la cadena unitaria en la estructura interna de los mismos afecta las propiedades térmicas y mecánicas y el perfil de retrogradación de los almidones. Así mismo, un menor contenido de amilosa mostró una reducción de la heterogeneidad, una menor resistencia máxima a la tracción y rigidez (módulo de Young), pero la mayor deformación de las películas. Por otro lado, las películas de almidón obtenidas a partir de un alto contenido de amilosa tienen mayor resistencia mecánica con mayores valores de resistencia máxima a la tracción y menor deformación de las películas ya que se pueden formar más enlaces de hidrógeno entre cadenas lineales (amilosa) de almidón generando una asociación molecular más estrecha y rígida, estas cualidades pueden utilizarse para la elección del almidón como componente de los recubrimientos comestibles (Tarique, Zainudin, Sapuan, Ilyas, & Khalina, 2022; Domene-López *et al.*, 2019).

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO**

El presente trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional de Juliaca, Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba y Universidad Peruana Unión.

La elaboración de chuño se realizó en el Laboratorio de Microbiología y Biotecnología de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Juliaca - Sede Ayabacas.

La determinación de las propiedades fisicoquímicas del chuño se realizó en el Laboratorio General de Química de la Universidad Nacional de Juliaca - Sede la Capilla.

La extracción de almidón de papa y chuño se realizó en el Laboratorio de Post Cosecha de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Juliaca - Sede Ayabacas.

La modificación de almidones nativos de papa y chuño se realizó en el Laboratorio de Post Cosecha de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Juliaca - Sede Ayabacas.

La determinación de color de almidones nativos y modificados de papa y chuño se realizó en el Laboratorio de Post Cosecha de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Juliaca- Sede Ayabacas.

La caracterización fisicoquímica de almidones nativos y modificados de papa y chuño se realizó en el Laboratorio General de Química de la Universidad Nacional de Juliaca - Sede la Capilla.

La caracterización térmica y reológica de almidones nativos y modificados de papa y chuño se realizó en el Laboratorio de Procesos Alimenticios de la Escuela Profesional de Ingeniería de Alimentos de la Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba.

La elaboración de recubrimiento comestible se realizó en el Laboratorio de Post Cosecha de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Juliaca - Sede Ayabacas.

La determinación de pH, °Brix, acidez y pérdida de peso de las fresas con recubrimiento comestibles se realizó en el Laboratorio de Post Cosecha de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Juliaca - Sede Ayabacas.

La determinación de permeabilidad al vapor de agua de los recubrimientos comestibles se realizó en el Laboratorio de Post Cosecha de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Juliaca - Sede Ayabacas.

La determinación de tasa de respiración de las fresas con recubrimiento se realizó en el laboratorio del Centro de Investigación en Tecnología de Alimentos (CITAL) de la Universidad Peruana Unión (UPeU) - Sede Juliaca.

## 3.2. MUESTRA

### 3.2.1. Materia prima

Se trabajó con dos variedades de papas nativas, como se observa en la Tabla 6, de las cuales una variedad fue papa amarga (Locka) y otra de variedad dulce (Imilla Negra) que fueron adquiridas del centro experimental INIA - Illpa (Puno).

**Tabla 6:** *Variedades de papas nativas utilizadas.*

| Nombre científico                                | Nombres en Quechua | Nombres en Aymara |
|--|--------------------|-------------------|
| <i>Solanum juzepczukii</i>                       | Locka              | Locka             |
| <i>Solanum tuberosum</i><br><i>ssp. andígena</i> | Yana Imilla        | Imilla            |

- Población

La población de forma general fue 60 kg de papa nativa dulce variedad Imilla Negra y 60 kg de papa nativa amarga variedad Locka, respecto a la papa.

- Muestra

La muestra que fueron utilizadas para cada tratamiento fue de 10 kg de papa nativa dulce variedad Imilla Negra y 10 kg de papa nativa amarga variedad Locka, respecto a la elaboración de chuño y extracción de almidón.

Así mismo se utilizó fresas orgánicas variedad Chandler procedentes de Acora, dichas muestras se utilizaron para realizar los análisis de tasa de respiración, determinación de pérdida de peso, pH, °Brix y acidez.

- Población

La población de forma general fue 31 kg de fresas orgánicas variedad Chandler.

- Muestra

Respecto a la determinación de tasa de respiración, la muestra utilizada para cada tratamiento fue de 250 mg.

Respecto a la determinación de pérdida de peso, pH, °Brix y acidez, la muestra utilizada para cada tratamiento fue de 2 kg.

### **3.3. MATERIALES Y EQUIPOS**

#### **3.3.1. Equipos**

- Balanza analítica, marca NAHITA serie C75814.
- Balanza analítica, marca RADWAG AS 82/220.X2 PLUS
- Centrifuga, marca BIO LION XC – L5.
- Espectrofotómetro marca CM-700d, KONICA MINOLTA.
- Mufla eléctrica, marca SELECTA.
- Equipo Soxhlet.
- Equipo kjeldahl, marca SELECTA.

- Ultracongelador
- Licuadora, marca OSTER.
- Reómetro modular compacto MCR 702e
- Analizador térmico DSC 2500, marca Mercatil
- pH metro
- Colorímetro inlad
- Micro balanza, marca AND BM20.
- Congelador (para fresas)
- Refractómetro

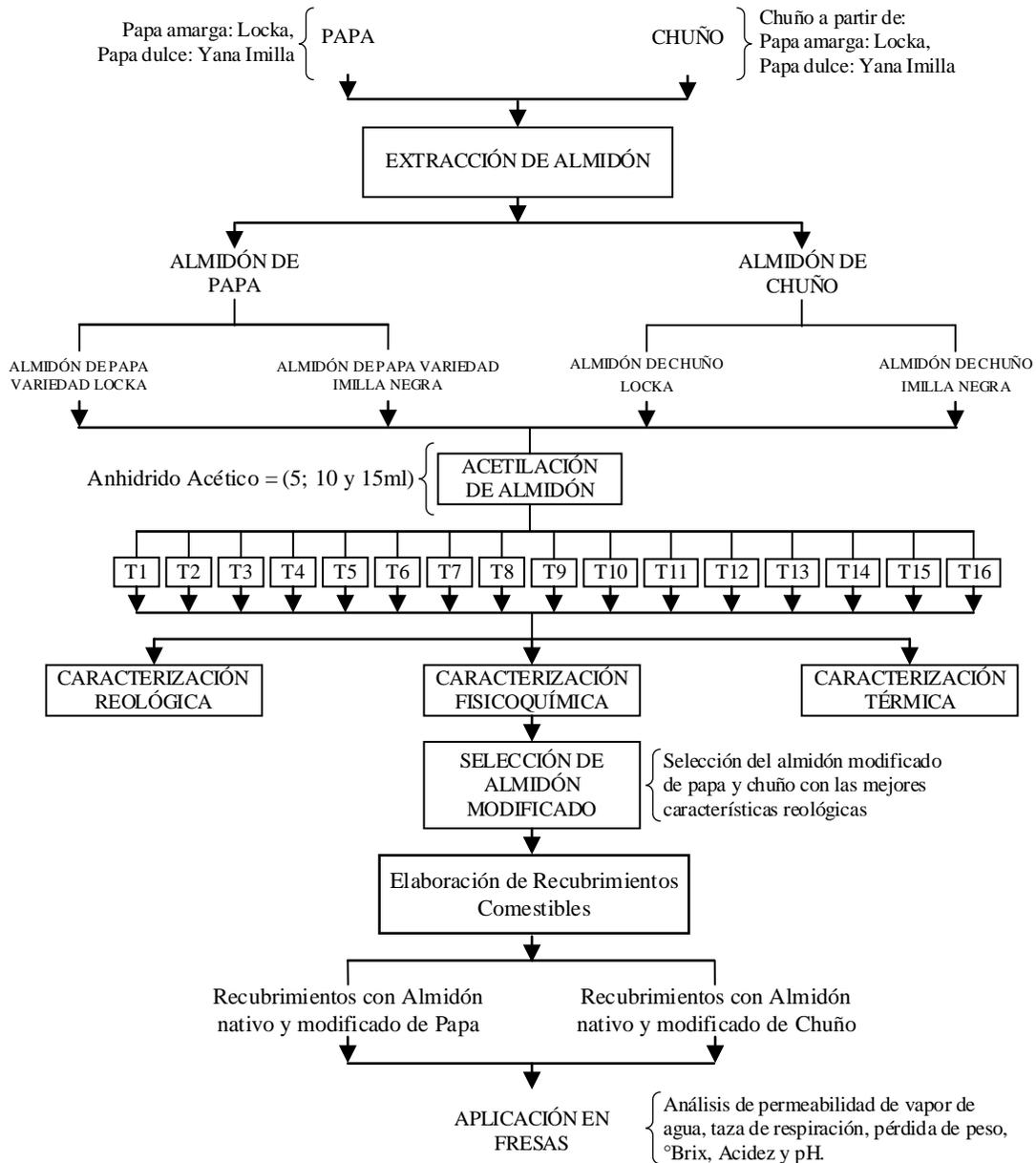
### **3.3.2. Materiales**

- Placa paralela PP50
- Tapas de cápsulas para DSC
- Cápsulas para DSC
- Vasos precipitados de 100 y 250 ml.
- Matraz volumétrico, 100 ml
- Crisoles
- Balones de digestión Kjeldahl.
- Papel filtro.
- Embudo Buchner.
- Sistema de destilación
- Pinzas metálicas
- Sistema de digestión.
- Envases de plástico.
- Mortero
- Campana desecadora
- Bandejas inox
- Malla N° 60
- Placas Petri
- Pipeta de 10 ml

### 3.3.3. Reactivos

- Hidróxido de sodio 3 por ciento, 1N, 0.1 N, 50 por ciento, 1.25 por ciento.
- Anhídrido acético 1N
- Ácido clorhídrico 0.5N
- Agua destilada
- Yodo 2 por ciento.
- Ácido acético
- Etanol 96%
- Fenolftaleína
- Catalizador ( $K_2SO_4 + CuSO_4$ )
- Ácido bórico 4 por ciento.
- Indicador rojo de metilo
- Indicador azul de metileno
- Ácido sulfúrico 0.02N, 1.25 por ciento.
- Cartucho de papel filtro

### 3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL



**Figura 7. Diseño experimental para la caracterización fisicoquímica, térmica y reológica de almidones nativos y modificados de papa (*Solanum tuberosum*) y chuño para su uso en recubrimientos comestibles**

### 3.4.1. Objetivo 1: Comparar el rendimiento y la composición proximal de chuño a partir de las variedades de papa Locka e Imilla Negra.

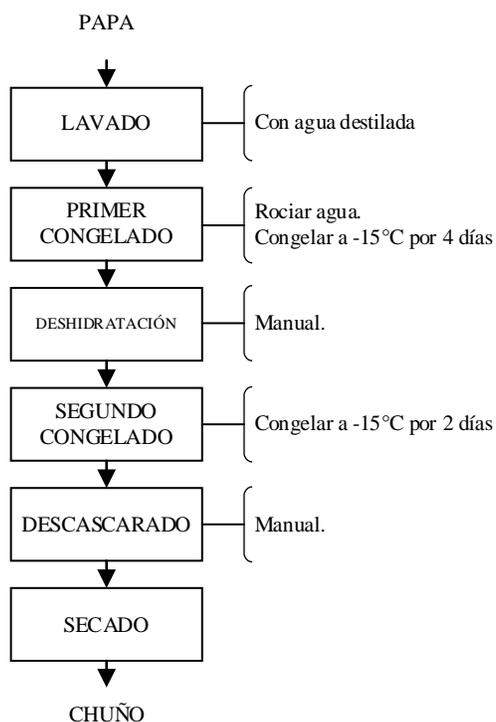
#### a. Variable independiente:

- Papa: Variedad dulce Imilla Negra y variedad amarga Locka.

#### b. Variable dependiente:

- Rendimiento de chuño de papa amarga variedad Locka (*Solanum jusepczukii*).
- Rendimiento de chuño de papa dulce variedad Imilla Negra (*Solanum tuberosum ssp. andígena*).
- Composición proximal (Humedad, cenizas, proteína total, grasa y fibra cruda) %.

En la figura 8, se da a conocer el diagrama de procesamiento de las distintas etapas para la obtención de chuño de las variedades correspondientes de papa.



**Figura 8. Diagrama de procesamiento para obtener chuño bajo condiciones controladas.**

Se utilizó la metodología descrita por Peñarrieta, Salluca, Tejeda, Alvarado, & Bergenstahl (2011) con algunas modificaciones como se muestra a continuación:

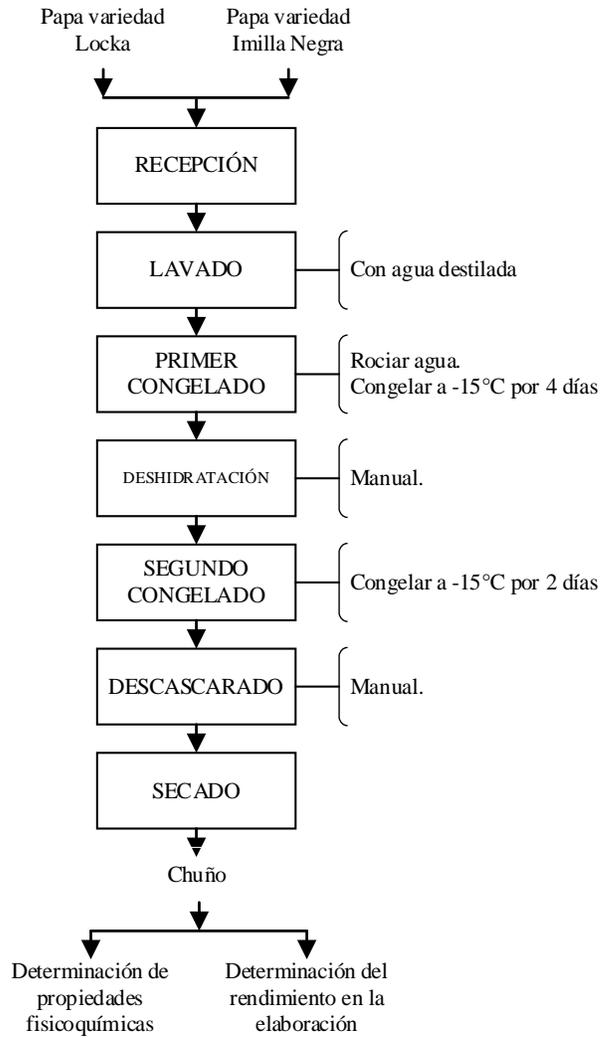
- Recepción: Recepción de papa dulce y amarga (Imilla Negra y Locka) respectivamente provenientes del centro experimental INIA - Illpa (Puno).
- Lavado: Se procedió a lavar las variedades de papa (Imilla Negra y Locka) por separado utilizando agua destilada.
- Primer congelado: Muestra de papa lavadas con anterioridad fueron rociadas con agua para acelerar el congelado, el proceso de congelado se llevó a cabo en una congeladora a  $-15^{\circ}\text{C}$  por un tiempo de 2 días.
- Deshidratación: De forma manual se realizó compresiones a las muestras de papa con la finalidad de extraer el agua.
- Segundo congelado: Después de extraer el agua de las muestras de papa, se realizó el segundo congelado a una temperatura de  $-15^{\circ}\text{C}$  por un tiempo de 1 día.
- Descascarado: Luego de terminar el proceso del segundo congelado, se procedió a quitar la cáscara de forma manual.
- Secado: Se procedió a secar las muestras de chuño a temperatura ambiente.
- Almacenamiento: Las muestras de chuño se almacenaron para su posterior análisis correspondiente.

### **c. Diseño experimental**

El diseño experimental para el objetivo N°1, se muestra en la figura N°9.

**d. Diseño estadístico:** Para este objetivo se utilizó un diseño completamente azar (DCA) con tres replicas.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$



**Figura 9. Diseño experimental para el objetivo N°1.**

La Matriz de diseño para el objetivo 1 se muestra a continuación:

**Tabla 7: Matriz del diseño experimental completamente al azar**

| Replicas | Chuño                 |                |
|----------|-----------------------|----------------|
|          | Variedad Imilla Negra | Variedad Locka |
| R1       |                       |                |
| R2       |                       |                |
| R3       |                       |                |

#### **e. Métodos de análisis:**

##### **- Composición proximal**

**- Para la determinación de humedad (método gravimétrico) se realizó mediante método (AOAC, 2005).**

Preparación de la muestra:

En una placa Petri se pesó 5 gramos de muestra.

Luego, en una estufa se colocaron las muestras del tratamiento correspondientes y se programó a una temperatura de 100 °C.

Las muestras del tratamiento correspondiente se retiraron de la estufa y se colocaron en una campana desecadora por un tiempo de 2 horas para que se enfríen.

Posterior a ello, las muestras del tratamiento correspondiente se colocaron en una balanza analítica y se anotó el peso.

La fórmula que se utilizó se muestra a continuación:

$$\% \text{ MS} = \left( \frac{\text{Peso final (placa + muestra)} + \text{peso de la placa}}{\text{Peso de la muestra}} \right) * 100$$
$$\% \text{ H} = 100\% - \% \text{ MS}$$

**- Para la determinación de cenizas (método de incineración), se realizó mediante método (AOAC, 2005).**

Preparación de materiales:

Se utilizaron crisoles previamente lavados con agua destilada.

Los crisoles fueron colocados en una estufa por un tiempo de 2 horas.

Luego del proceso de secado los crisoles fueron retirados de la estufa con el uso de pinzas.

Los crisoles secados fueron colocados en una campana desecadora

Preparación de la muestra:

Se pesaron 3 gramos de muestra del tratamiento correspondiente.

Las muestras del tratamiento correspondiente fueron colocadas a una mufla, se programó durante 6 horas a una temperatura de 600 °C.

Luego de este proceso, las muestras del tratamiento correspondiente se dejaron enfriar durante 6 horas.

Las muestras previamente frías, fueron retiradas de la estufa con el uso de pinzas y se colocaron en una campana de desecación.

Las muestras del tratamiento correspondiente dejaron en reposo durante 2 horas, luego se utilizó una balanza para obtener el peso.

Se utilizó la siguiente fórmula para realizar los cálculos correspondientes:

$$\% \text{ de ceniza} = \left( \frac{\text{Peso final (crisol+ muestra)+ peso de crisol}}{\text{Peso de la muestra}} \right) * 100$$

**- Para la determinación de proteína total (método de Kjeldahl N x 6.25), se realizó mediante método (AOAC, 2005).**

Se utilizaron 0.5 gramos de muestra para los tratamientos correspondientes, estas muestras fueron colocadas en un frasco digestor.

Para el análisis correspondiente se utilizaron catalizador (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+CuSO<sub>4</sub>) y ácido sulfúrico concentrado, 0.20 gramos y 8 ml respectivamente.

Se utilizó una cabina de extracción para el proceso de digestión correspondiente, dicho proceso concluyó cuando se observó una coloración manzana transparente.

Luego añadió 150ml de agua y 14 ml de NaOH AL 50 %.

Después se realizó el proceso de destilación por un tiempo de 40 minutos.

Se utilizó 6ml de ácido bórico al 4 % con indicador azul de metileno y rojo de metilo para recoger el destilado correspondiente.

Después del proceso de destilación se realizó la valoración con el uso de ácido sulfúrico 0.02N.

Con la siguiente fórmula se realizaron los cálculos correspondientes.

$$\% \text{Proteína} = \left( \frac{V * N * 1.4}{\text{g de muestra}} \right)$$

Dónde:

V: Volumen de ácido sulfúrico utilizado en la valoración.

N: Normalidad del Ácido.

% proteína = % N x Factor.

Factor: El factor para la presente determinación es de 6.25

**- Para la determinación de grasa (método de Soxhlet), se realizó mediante el método (AOAC, 2005).**

Se utilizaron 5 gramos de muestra del tratamiento correspondiente, estas muestras fueron colocadas en un cartucho de papel filtro.

Luego se colocaron en el equipo Soxhlet adicionando el solvente correspondiente para lograr la extracción de grasa en un balón por un tiempo de 1 hora.

El proceso dura hasta que el solvente se evapore y luego se realiza el pesado correspondiente.

Se utilizó la siguiente fórmula para los cálculos respectivos:

$$\% \text{Grasa} = \left( \frac{P2 - P1}{Pm} \right) * 100$$

Dónde:

P1: Peso en gramos del balón recolector vacío que hace parte del equipo extractor.

P2: Peso en gramos del balón que contiene la grasa extraída.

Pm: Peso en gramos de la muestra.

**- Para la determinación de fibra cruda, se realizó mediante el método (AOAC, 2005).**

Se utilizaron 2 gramos de muestra para el tratamiento correspondiente, dicha muestra fue colocada en papel filtro con la finalidad de desengrasar con éter. Se utilizó ácido sulfúrico al 1.25 %, se agregó 200 ml del reactivo mencionado.

Se realizó el calentamiento por un tiempo de 30 minutos. Haciendo uso de una tela en un buchner se realizó el filtrado sin dejar enfriar, seguido de esto, se realizó el lavado con agua caliente. El material obtenido se volvió a añadir al vaso precipitado adicionando 200 ml NaOH al 1.25%. Luego se volvió a calentar por un tiempo de 30 minutos.

Después del proceso de calentado se realizó el filtrado sin dejar enfriar, seguido de esto, se realizó el lavado con agua caliente. En un crisol se realizó el filtrado del residuo el cual fue preparado con asbesto previamente.

En una estufa se colocó el crisol con la muestra anteriormente mencionada, se dejó reposar hasta alcanzar un peso de forma constante, la temperatura que se programó fue de 110 °C.

Se dejó enfriar para realizar el pesado correspondiente. Luego el crisol de la muestra correspondiente se calcinó haciendo uso de la mufla a una temperatura de 550 °C durante 2 horas.

La fibra es representada por la diferencia de los pesos antes de la calcinación y después de la calcinación de la muestra correspondiente. Se utilizó la siguiente fórmula para la determinación correspondiente:

$$\%FC = \left( \frac{P1-P2}{Pm} \right) * 100$$

Dónde:

P1: Peso en gramos del crisol calcinado.

P2: Peso en gramos del crisol vacío.

Pm: Peso en gramos de la muestra

**- Rendimiento total en la elaboración de chuño %.**

- Para la determinación del rendimiento de elaboración de chuño a partir de las variedades de papa dulce (Imilla Negra) y amarga (Locka) se utilizó la siguiente fórmula (Peña, 2017):

$$\text{Rendimiento\%} = \left( \frac{\text{Cantidad de chuño Kg}}{\text{Cantidad de papa Kg}} * 100 \right)$$

**f. Materiales**

- Placas Petri
- Pinzas metálicas
- Crisoles
- Campana desecadora
- Frasco digestor
- Cartucho de papel filtro
- Balón recolector
- Papeles filtro
- Asbesto

**g. Equipos**

- Estufa, marca SELECTA
- Balanza analítica, marca NAHITA serie C75814
- Mufla, marca SELECTA
- Cabina de extracción
- Equipo Soxhlet

**h. Reactivos**

- Ácido sulfúrico concentrado
- Catalizador ( $\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{CuSO}_4$ )
- Hidróxido de sodio al 50%
- Ácido bórico al 4%
- Indicador rojo de metilo
- Indicador azul de metileno

- Ácido sulfúrico 0.02N
- Solvente para extraer grasas (no especificado)
- Éter
- Ácido sulfúrico al 1.25%
- Hidróxido de sodio al 1.25%

### **3.4.2. Objetivo 2: Determinar el rendimiento de extracción de almidón nativo de papa y chuño.**

#### **a. Variable independiente:**

- Papa: Variedad dulce Imilla Negra y variedad amarga Locka.
- Chuño: Variedad dulce Imilla Negra y variedad amarga Locka.

#### **b. Variable dependiente:**

- Rendimiento (%) de almidón de papa amarga Locka (*Solanum jusepczukii*).
- Rendimiento (%) de almidón de papa dulce Imilla Negra (*Solanum tuberosum ssp. andígena*).
- Rendimiento (%) de almidón de chuño Locka (*Solanum jusepczukii*).
- Rendimiento (%) de almidón de chuño Imilla Negra (*Solanum tuberosum ssp. andígena*).

En la Figura 10, se da a conocer el diagrama de procesamiento de las etapas correspondientes para la obtención de almidón.

Se utilizó la metodología descrita por Álzate Carvajal, Quintero Castaño, & Lucas Aguirre (2013) con algunas modificaciones, como se muestra a continuación:

#### **Lavado**

Se añadió agua destilada en un recipiente inoxidable con la finalidad de asegurar la limpieza, las muestras de papas nativas fueron lavadas manualmente sumergiendo en el agua destilada para eliminar tierra e impurezas, luego se realizó un enjuague con agua destilada para asegurar la limpieza.

### **Pelado**

Las papas se pelaron manualmente utilizando cuchillos de acero inoxidable que fueron previamente desinfectados, el pelado de las papas nativas se realizó con cuidado para retirar la menor cantidad de pulpa y no reducir el rendimiento de almidón.

### **Cortado**

Luego del pelado las papas nativas fueron cortadas en trozos uniformes de aproximadamente 2 cm para poder facilitar el licuado, se utilizó una tabla y un cuchillo previamente desinfectados.

### **Licuado**

Los trozos de papa se colocaron en una licuadora, donde se añadió agua destilada y se licuaron a la velocidad mínima durante 5 minutos. Luego se colocó en un envase inoxidable para realizar el tamizado correspondiente.

### **Tamizado**

Posterior al licuado, la mezcla se pasó por una malla N°60, añadiendo agua destilada gradualmente hasta que el agua salió completamente limpia. El tamizado se realiza para eliminar la fibra.

### **Filtrado**

La mezcla tamizada fue filtrada, y el sedimento obtenido se recolectó para el siguiente paso.

### **Secado**

El sedimento recolectado se colocó en un horno a una temperatura de 40 °C por un tiempo de 24 horas.

### **Molienda**

Las muestras de almidón previamente secas fueron colocadas en un mortero para obtener un polvo correspondiente a cada tratamiento.

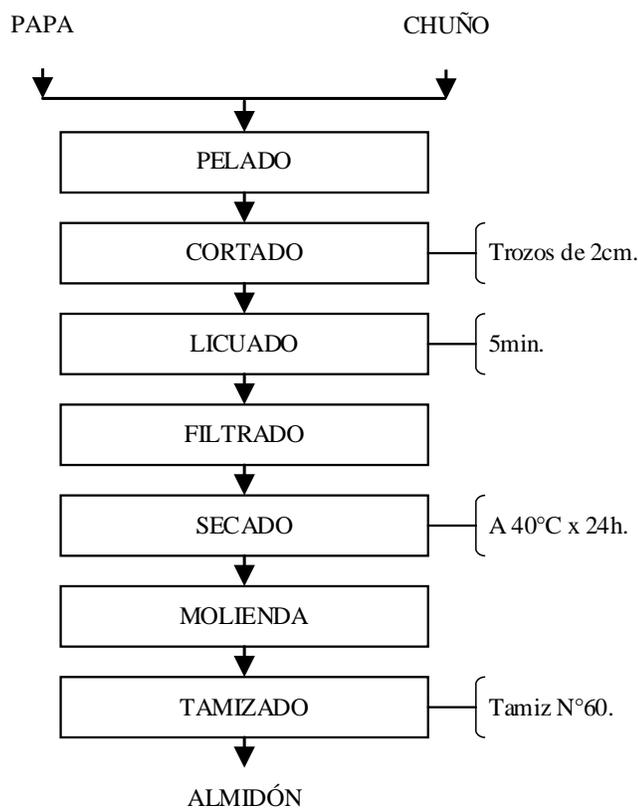
### Tamizado final

El almidón molido se tamizó en un tamiz N°60 para asegurar una textura uniforme y eliminando cualquier impureza no deseada.

### Almacenamiento

El almidón previamente tamizado se colocó en bolsas herméticas con cierre, las cuales se almacenaron a una temperatura de 12°C para no alterar su contenido de humedad. Para cada tratamiento se colocó su respectivo rótulo.

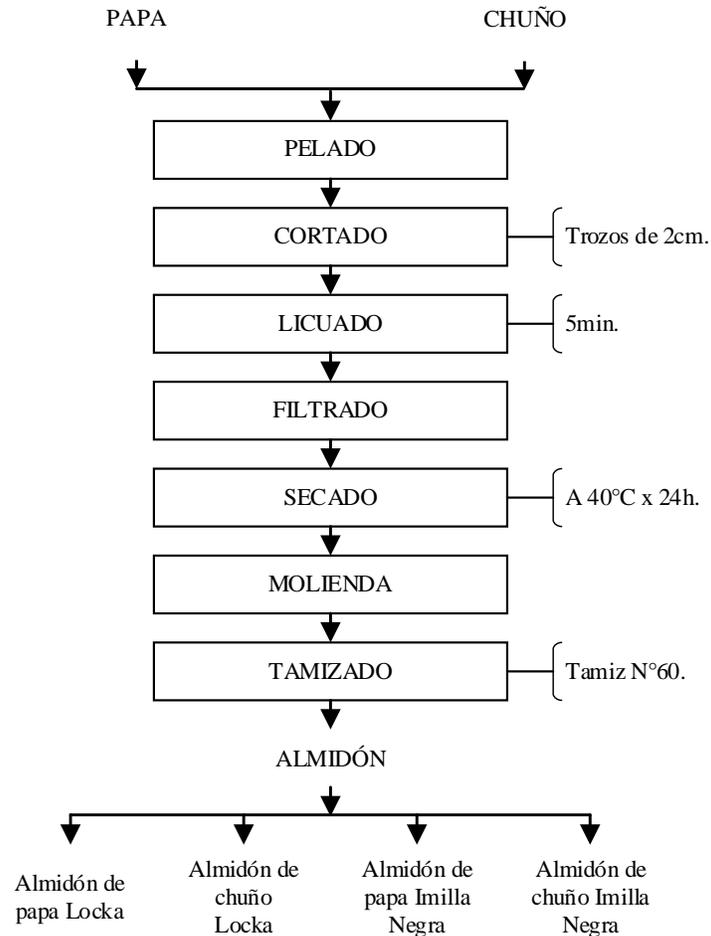
Respecto a la extracción del almidón de chuño de las variedades correspondientes de papas nativas, se utilizó la misma metodología con la única diferencia de que las muestras de chuño se remojaron en agua destilada durante 2 días para hidratarlas, cambiando el agua cada 12 horas para evitar la fermentación.



**Figura 10. Diagrama de procesamiento para la extracción de almidón.**

### c. Diseño experimental

El diseño experimental para el objetivo N°2, se muestra en la figura N°11.



**Figura 11. Diseño experimental para el objetivo N°2.**

La extracción de almidón se realizó a partir de papa dulce variedad Imilla Negra, papa amarga variedad Locka y chuño a partir de las variedades ya mencionadas.

**d. Diseño estadístico:** Para este objetivo se utilizó un diseño completamente azar (DCA) con tres replicas.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

La Matriz de diseño para el objetivo 2 se muestra a continuación:

**Tabla 8: Matriz del diseño experimental**

| Replicas | Papa                         |                       | Chuño                         |                        |
|----------|------------------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------|
|          | Almidón de papa Imilla Negra | Almidón de papa Locka | Almidón de chuño Imilla Negra | Almidón de chuño Locka |
| R1       |                              |                       |                               |                        |
| R2       |                              |                       |                               |                        |
| R3       |                              |                       |                               |                        |

**e. Métodos de análisis:**

**- Rendimiento de la extracción de almidón**

Para la determinación del rendimiento de extracción de almidón de las papas y chuños nativos se utilizó la siguiente fórmula (Peña, 2017):

$$\text{Rendimiento}\% = \left( \frac{\text{Cantidad de almidón Kg}}{\text{Cantidad de papa Kg}} * 100 \right)$$

$$\text{Rendimiento}\% = \left( \frac{\text{Cantidad de almidón Kg}}{\text{Cantidad de chuño Kg}} * 100 \right)$$

**f. Materiales**

- Malla N°60
- Mortero
- Tamiz N°60
- Agua destilada

## g. Equipos

- Licuadora, marca OSTER
- Horno, marca SELECTA

### 3.4.3. Objetivo 3: Modificar almidones nativos de papa y chuño.

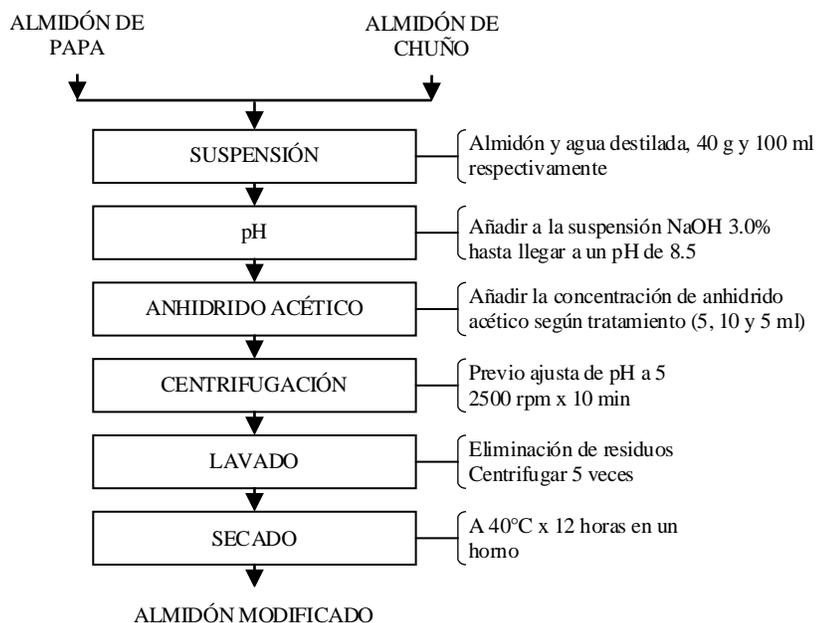
#### a. Variable independiente:

- Almidón: Papa variedad Imilla Negra y Locka, chuño variedad Imilla Negra y variedad Locka.
- Anhídrido acético: (5, 10 y 15 ml).

#### b. Variable dependiente:

- Color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ )

En la figura 12, se da a conocer el diagrama de proceso para la modificación de almidones de papa y chuño.



**Figura 12. Diagrama de proceso para la modificación de almidón.**

Se utilizó el método descrito por Wolff, Olds, & Hilbert (1951) con algunas modificaciones, como se muestra a continuación:

### **Preparación de la suspensión**

Se preparó una suspensión con almidón y agua destilada, 40 g y 100 ml respectivamente.

### **Ajuste de pH inicial**

Añadir a la suspensión previa NaOH al 3.0 % hasta llegar a un pH de 8.5

### **Agitación**

La mezcla fue agitada de forma constante para asegurar homogeneidad.

### **Adición de anhídrido acético**

Se añadió anhídrido acético gota a gota en concentraciones de 5, 10 y 15 ml según el tratamiento correspondiente.

### **Reajuste de pH**

Después de la adición de anhídrido acético, el pH se reajustó a 8.5 utilizando hidróxido de sodio y se dejó estabilizar por 10 minutos.

### **Ajuste de pH final**

Se ajustó el pH de la mezcla a 5 utilizando HCl 0.5N para neutralizar el sistema.

### **Centrifugado inicial**

La mezcla se centrifugó a 2500 rpm durante 10 minutos para separar los residuos.

### **Lavado**

Los residuos obtenidos se lavaron cinco veces con agua destilada, utilizando una centrífuga para cada lavado, a fin de eliminar impurezas.

### **Secado**

Las muestras de almidón modificado se secaron en un horno a 40°C durante 12 horas.

Este mismo procedimiento se aplicó a las muestras de almidón de chuño para obtener almidón modificado de chuño de las variedades correspondientes.

### c. Diseño experimental

El diseño experimental para el objetivo N°3, se muestra en la figura N°13.

**d. Diseño estadístico:** Para este objetivo se utilizó un diseño completamente azar (DCA) con tres replicas.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

La Matriz de diseño para el objetivo 3 se muestra a continuación:

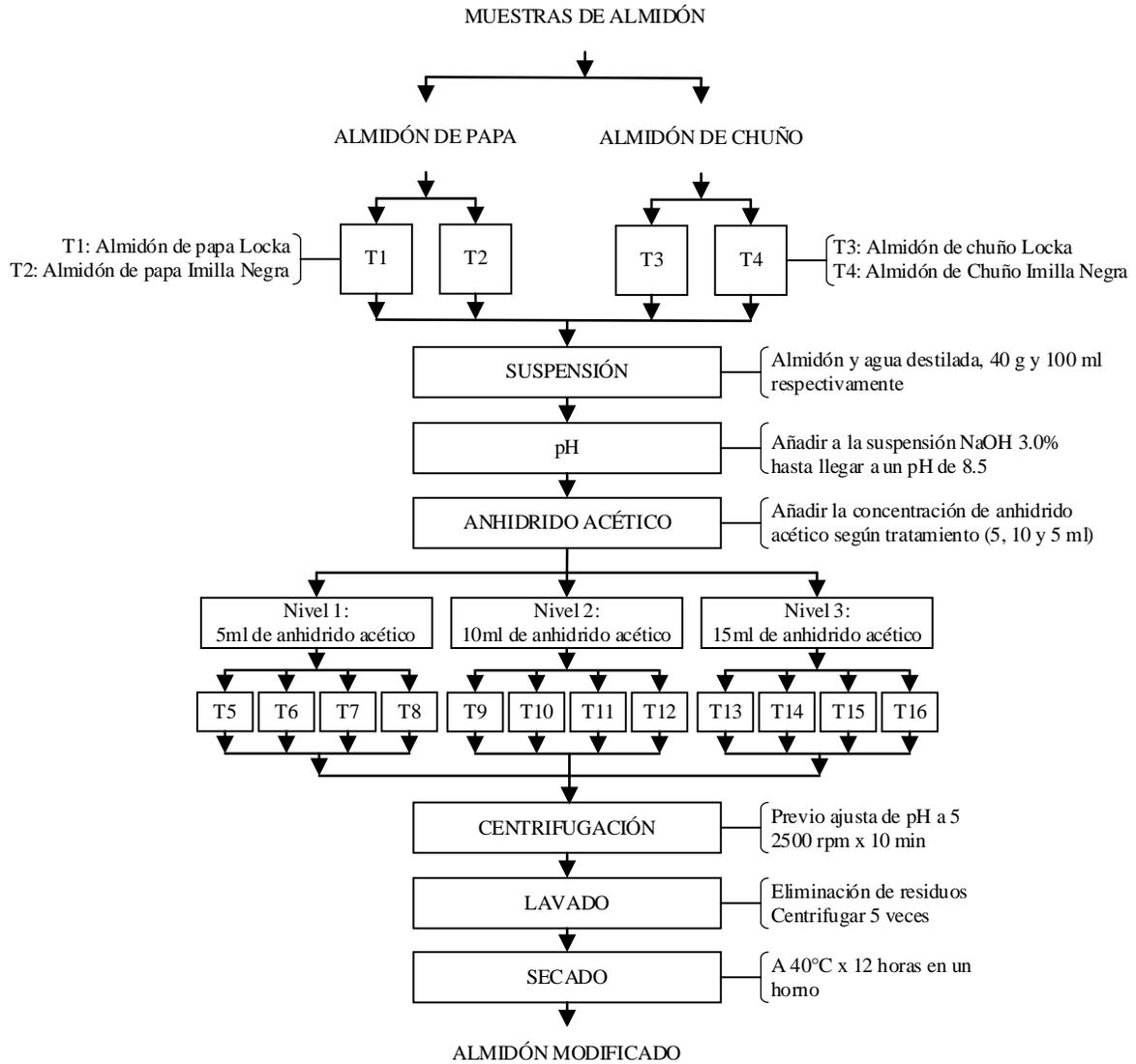
**Tabla 9: Matriz del diseño experimental**

| Replicas | Almidón nativo de papa |       | Almidón nativo de chuño |       | Almidón modificado de papa |       | Almidón modificado de chuño |       |
|----------|------------------------|-------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|-----------------------------|-------|
|          | Imilla                 | Locka | Imilla                  | Locka | Imilla                     | Locka | Imilla                      | Locka |
|          | Negra                  |       | Negra                   |       | Negra                      |       | Negra                       |       |
| R1       |                        |       |                         |       |                            |       |                             |       |
| R2       |                        |       |                         |       |                            |       |                             |       |
| R3       |                        |       |                         |       |                            |       |                             |       |

### e. Métodos de análisis:

#### - Evaluación de los atributos de color

El instrumento utilizado fue el Colorímetro inlad, para lo cual 30g fueron colocadas en placas de Petri de 30cm de diámetro, luego se realizaron las medidas con el equipo mencionado, estas medidas dan a conocer el sistema CIE-L\* a\* b\* (Larrauri & Saura, 2000).



**Figura 13. Diseño experimental para el objetivo N°3.**

#### **f. Materiales**

- Agua destilada

#### **g. Equipos**

- Centrífuga, marca BIO LION XC – L5

- Horno, marca SELECTA

- Colorímetro inlad

## Reactivos

- Anhídrido acético (5, 10, y 15 ml)
- NaOH (solución al 3.0%)
- HCl (solución 0.5N)

### 3.4.4. Objetivo 4: Caracterizar las propiedades fisicoquímicas, térmicas y reológicas de almidones nativos y modificados de papa y chuño (*Solanum tuberosum*).

#### a. Variable independiente:

- Almidón: Nativo y modificado de papa y chuño variedad Imilla Negra y Locka.

#### b. Variable dependiente:

- Propiedades fisicoquímicas (Humedad, cenizas, proteína, grasa, fibra cruda, amilosa y amilopéctica).
- Propiedades térmicas (Temperatura inicial °C; Temperatura pico °C; Temperatura final °C; Entalpía de Gelatinización J/g).
- Propiedades reológicas (Esfuerzo cortante Pa, Umbral de fluencia Pa, Velocidad de cizalla, Coeficiente de consistencia Pa·sn, Índice reológico).

#### c. Diseño experimental

El diseño experimental para el objetivo N°4, se muestra en la figura N°14.



Figura 14. Diseño experimental para el objetivo N°4.

**d. Diseño estadístico:** Para este objetivo se utilizó un diseño completamente azar (DCA) con tres replicas.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

La Matriz de diseño para composición proximal se muestra a la continuación:

**Tabla 10: Matriz del diseño experimental**

| Replicas | Almidón nativo de papa |       | Almidón nativo de chuño |       | Almidón modificado de papa |       | Almidón modificado de chuño |       |
|----------|------------------------|-------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|-----------------------------|-------|
|          | Imilla Negra           | Locka | Imilla Negra            | Locka | Imilla Negra               | Locka | Imilla Negra                | Locka |
| R1       |                        |       |                         |       |                            |       |                             |       |
| R2       |                        |       |                         |       |                            |       |                             |       |
| R3       |                        |       |                         |       |                            |       |                             |       |

**e. Métodos de análisis:**

**- Composición proximal**

**- Para la determinación de humedad (método gravimétrico) se realizó mediante método (AOAC, 2005).**

Preparación de la muestra:

En una placa Petri se pesó 5 gramos de muestra.

Luego, en una estufa se colocaron las muestras del tratamiento correspondientes y se programó a una temperatura de 100 °C.

Las muestras del tratamiento correspondiente se retiraron de la estufa y se colocaron en una campana desecadora por un tiempo de 2 horas para que se enfríen.

Posterior a ello, las muestras del tratamiento correspondiente se colocaron en una balanza analítica y se anotó el peso.

La fórmula que se utilizó se muestra a continuación:

$$\% \text{ MS} = \left( \frac{\text{Peso final (placa + muestra)} + \text{peso de la placa}}{\text{Peso de la muestra}} \right) * 100$$

$$\% \text{ H} = 100\% - \% \text{ MS}$$

**- Para la determinación de cenizas (método de incineración), se realizó mediante método (AOAC, 2005).**

Preparación de materiales:

Se utilizaron crisoles previamente lavados con agua destilada.

Los crisoles fueron colocados en una estufa por un tiempo de 2 horas.

Luego del proceso de secado los crisoles fueron retirados de la estufa con el uso de pinzas.

Los crisoles secados fueron colocados en una campana desecadora

Preparación de la muestra:

Se pesaron 3 gramos de muestra del tratamiento correspondiente.

Las muestras del tratamiento correspondiente fueron colocadas a una mufla, se programó durante 6 horas a una temperatura de 600 °C.

Luego de este proceso, las muestras del tratamiento correspondiente se dejaron enfriar durante 6 horas.

Las muestras previamente frías, fueron retiradas de la estufa con el uso de pinzas y se colocaron en una campana de desecación.

Las muestras del tratamiento correspondiente dejaron en reposo durante 2 horas, luego se utilizó una balanza para obtener el peso.

Se utilizó la siguiente fórmula para realizar los cálculos correspondientes:

$$\% \text{ de ceniza} = \left( \frac{\text{Peso final (crisol+ muestra)} + \text{peso de crisol}}{\text{Peso de la muestra}} \right) * 100$$

**- Para la determinación de proteína total (método de Kjeldahl N x 6.25), se realizó mediante método (AOAC, 2005).**

Se utilizaron 0.5 gramos de muestra para los tratamientos correspondientes, estas muestras fueron colocadas en un frasco digestor.

Para el análisis correspondiente se utilizaron catalizador (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+CuSO<sub>4</sub>) y ácido sulfúrico concentrado, 0.20 gramos y 8 ml respectivamente.

Se utilizó una cabina de extracción para el proceso de digestión correspondiente, dicho proceso concluyó cuando se observó una coloración manzana transparente.

Luego añadió 150ml de agua y 14 ml de NaOH AL 50 %.

Después se realizó el proceso de destilación por un tiempo de 40 minutos.

Se utilizó 6ml de ácido bórico al 4 % con indicador azul de metileno y rojo de metilo para recoger el destilado correspondiente.

Después del proceso de destilación se realizó la valoración con el uso de ácido sulfúrico 0.02N.

Con la siguiente fórmula se realizaron los cálculos correspondientes.

$$\%Proteína = \left( \frac{V * N * 1.4}{g \text{ de muestra}} \right)$$

Dónde:

V: Volumen de ácido sulfúrico utilizado en la valoración.

N: Normalidad del Ácido.

% proteína = % N x Factor.

Factor: El factor para la presente determinación es de 6.25

**- Para la determinación de grasa (método de Soxhlet), se realizó mediante el método (AOAC, 2005).**

Se utilizaron 5 gramos de muestra del tratamiento correspondiente, estas muestras fueron colocadas en un cartucho de papel filtro.

Luego se colocaron en el equipo Soxhlet adicionando el solvente correspondiente para lograr la extracción de grasa en un balón por un tiempo de 1 hora.

El proceso dura hasta que el solvente se evapore y luego se realiza el pesado correspondiente.

Se utilizó la siguiente fórmula para los cálculos respectivos:

$$\%Grasa = \left( \frac{P2-P1}{Pm} \right) * 100$$

Dónde:

P1: Peso en gramos del balón recolector vacío que hace parte del equipo extractor.

P2: Peso en gramos del balón que contiene la grasa extraída.

Pm: Peso en gramos de la muestra.

**- Para la determinación de fibra cruda, se realizó mediante el método (AOAC, 2005).**

Se utilizaron 2 gramos de muestra para el tratamiento correspondiente, dicha muestra fue colocada en papel filtro con la finalidad de desengrasar con éter.

Se utilizó ácido sulfúrico al 1.25 %, se agregó 200 ml del reactivo mencionado.

Se realizó el calentamiento por un tiempo de 30 minutos.

Haciendo uso de una tela en un buchner se realizó el filtrado sin dejar enfriar, seguido de esto, se realizó el lavado con agua caliente.

El material obtenido se volvió a añadir al vaso precipitado adicionando 200 ml NaOH al 1.25%.

Luego se volvió a calentar por un tiempo de 30 minutos.

Después del proceso de calentado se realizó el filtrado sin dejar enfriar, seguido de esto, se realizó el lavado con agua caliente.

En un crisol se realizó el filtrado del residuo el cual fue preparado con asbesto previamente.

En una estufa se colocó el crisol con la muestra anteriormente mencionada, se dejó reposar hasta alcanzar un peso de forma constante, la temperatura que se programó fue de 110 °C, luego se dejó enfriar para realizar el pesado correspondiente.

Luego el crisol de la muestra correspondiente se calcinó haciendo uso de la mufla a una temperatura de 550 °C durante 2 horas.

La fibra es representada por la diferencia de los pesos antes de la calcinación y después de la calcinación de la muestra correspondiente.

Se utilizó la siguiente fórmula para la determinación correspondiente:

$$\%FC = \left( \frac{P1-P2}{Pm} \right) * 100$$

Dónde:

P1: Peso en gramos del crisol calcinado.

P2: Peso en gramos del crisol vacío.

Pm: Peso en gramos de la muestra

#### **- Contenido de amilosa y amilopectina**

En un frasco volumétrico de 100 ml se pesaron 100 mg de almidón, se agregó 1 ml de etanol al 95 % v/v y 9 ml de NaOH 1N y se dejó en reposo durante 24 horas a temperatura ambiente, luego de este tiempo se aforó a 100 ml con agua destilada, luego en otro frasco volumétrico de 100 ml se agregó 50 ml de agua destilada y una alícuota de 5 ml de la primera preparación, 1 ml de ácido acético 1N y 2 ml de solución de yodo al 2%, se mezclaron y se aforó con agua destilada, se almacenó en oscuridad por 20 minutos para determinar la densidad óptica con el uso de un espectrofotómetro a 620 nm (Oñate, 2012).

Se utilizó la curva de calibración del estudio realizado por Hoover & Ratnayake (2001), de esta curva de calibración se utilizó la ecuación de regresión para poder determinar el contenido de amilosa en las muestras de almidón, el contenido de amilopectina se obtuvo por la diferencia del total y el valor del contenido de amilosa.

La ecuación de regresión fue la siguiente:

$$y = 0.0168x + 0.2138 \quad R^2 = 0.9998$$

Donde x = % de amilosa, y = absorbancia a 620 nm.

En el Anexo 10 se muestra la corrida datos del contenido de amilosa de las muestras de almidón de la presente investigación

#### **- Metodología de calorimetría diferencial de barrido**

- Las propiedades térmicas como la entalpía de gelatinización, temperatura inicial ( $T_0$ ), temperatura pico ( $T_p$ ) y la temperatura final ( $T_f$ ) se determinaron con el uso de un calorímetro diferencial de barrido (DSC-2500) (TA Instruments, New Castle, DE, EE. UU.) marca Mercatil, se prepararon muestras de  $(10 \pm 0.5)$  mg, la velocidad de la rampa fue de  $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$  hasta llegar a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ , las muestras de almidón se mezclaron con agua en una relación 1:5 (almidón: agua) y se dejaron reposar por 1 hora para que el contenido de humedad se iguale (Álzate Carvajal, Quintero Castaño, & Lucas Aguirre, 2013); las temperaturas de gelatinización y entalpías se determinaron con el uso del software TRIOS.

#### **- Comportamiento reológico de los geles de almidón**

Se utilizó la metodología descrita por Augusto *et al.* (2012) con ligeras modificaciones. La muestra fue sometida a un cizallamiento a  $300 \text{ s}^{-1}$ , por un tiempo de 10 minutos con la finalidad de evitar la tixotropía en los tratamientos correspondientes, después se dio inicio al experimento correspondiente a un estado estacionario, la velocidad de cizallamiento ( $\dot{\gamma}$ ) que se utilizó fue de incrementando desde 0 a  $100 \text{ s}^{-1}$  y luego disminuyó desde 100 a  $0 \text{ s}^{-1}$ , con estos datos se obtuvo curvas características de muestras de almidón que fueron demostradas con modelo de ley de Herschel-Bulkley que se muestra a continuación:

$$\sigma = \sigma_0 + \sum k^n$$

donde:  $\sigma$  es el esfuerzo cortante (Pa),  $\sigma_0$  es el umbral de fluencia (Pa),  $\dot{\gamma}$  es la velocidad de cizalla ( $s^{-1}$ ),  $k$  es el coeficiente de consistencia ( $Pa \cdot sn$ ) y  $n$  es el índice reológico (adimensional).

#### **f. Materiales**

- Placas Petri
- Pinzas metálicas
- Crisoles
- Campana desecadora
- Frasco digestor
- Cartucho de papel filtro
- Balón recolector
- Frascos volumétricos de 100 ml
- Etanol al 95% v/v
- Solución de yodo al 2%

#### **g. Equipos**

- Estufa, marca SELECTA
- Balanza analítica, marca NAHITA serie C75814
- Mufla, marca SELECTA
- Cabina de extracción
- Equipo Soxhlet
- Espectrofotómetro, marca CM-700d, KONICA MINOLTA
- Calorímetro diferencial de barrido (DSC-2500, marca Mercatil)
- Reómetro modular compacto MCR 702e

#### **Reactivos**

- Catalizador ( $K_2SO_4 + CuSO_4$ )
- Hidróxido de sodio al 50%

- Ácido bórico al 4%
- Indicador rojo de metilo
- Indicador azul de metileno
- Ácido sulfúrico 0.02N
- Éter
- Ácido sulfúrico al 1.25%
- Hidróxido de sodio al 1.25%, 1N
- Ácido acético 1N
- Solución de yodo al 2%

**3.4.5. Objetivo 5: Elaborar un recubrimiento comestible con almidón nativo y modificado para usarlo en una matriz alimentaria.**

**a. Variable independiente:**

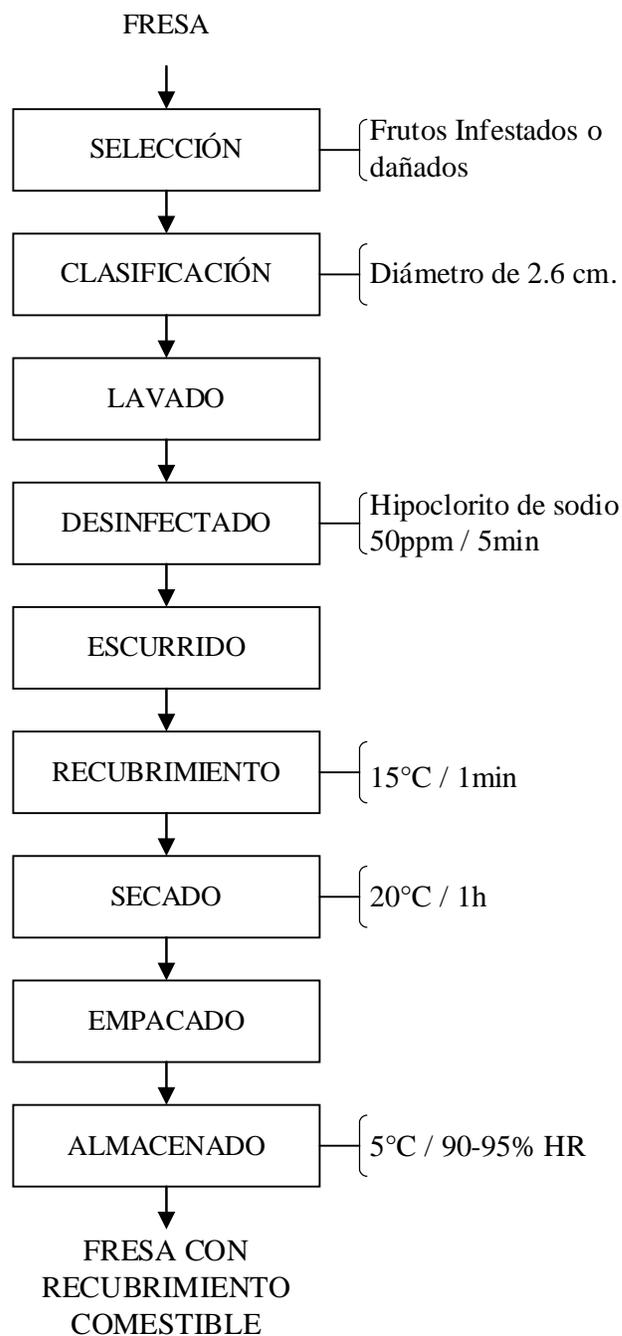
- Recubrimiento comestible: Tratamientos (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 y T8).

**b. Variable dependiente:**

- Tasa de respiración.
- Análisis de permeabilidad de vapor de agua.
- Pérdida de peso %, acidez titulable, pH y °Brix.

La metodología para la elaboración de recubrimiento comestible se basó en la metodología citada por Cerqueira, Lima, Teixeira, Moreira, & Vicente (2009), con algunas modificaciones, los recubrimientos comestibles fueron elaborados disolviendo los almidones modificados de papa y chuño en agua destilada a una temperatura de 80 °C, se añadió glicerol y la solución se agitó utilizando un agitador magnético y un calentador, la temperatura durante el calentamiento tiene que alcanzar los 85 °C con la finalidad de fusionar de forma completa el almidón, agua y glicerol, cuando la solución tiene la temperatura mencionada anteriormente se le añade el *Tween* 80, el proceso dura 1 hora, la solución filogénica se almacena en refrigeración.

En la Figura 15, se da a conocer el diagrama de procesamiento de las distintas etapas correspondientes para la elaboración de recubrimiento comestible a base de almidón nativo, almidón modificado, glicerol y *Tween* 80.



**Figura 15. Diagrama de procesamiento para la elaboración y aplicación de recubrimiento a fresas.**

Cabe mencionar que la recepción de las fresas orgánicas variedad Chandler que se utilizaron en la presente investigación fueron adquiridas de Acora. La metodología de recolección que se realizó fue en base al estudio realizado por Vakili-Ghartavol, Arouiee, Golmohammadzadeh, Naseri, & Bandian (2024), con algunas modificaciones, las fresas variedad Chandler fueron cosechadas en el invernadero de Acora, la selección de las fresas se basó en su uniformidad en forma, tamaño, color y ausencia de daños externos, plagas y enfermedades, así mismo, de forma cuidadosa se retiró de la planta y se colocó en envases PET con tenían en la base un amortiguador (Plástico de burbujas), a su vez estos envases fueron colocados en una caja térmica de Tecnopor, luego inmediatamente fueron transportados al laboratorio para realizar los análisis correspondientes.

Para la elaboración de recubrimiento comestible se utilizó almidón nativo de papa variedad Locka, almidón nativo de papa variedad Imilla Negra, almidón modificado de papa variedad Locka, almidón modificado de papa variedad Imilla Negra, y almidón nativo de chuño variedad Locka, almidón nativo de chuño variedad Imilla Negra, almidón modificado de chuño variedad Locka, almidón modificado de chuño variedad Imilla Negra.

### **Recepción**

Luego de ser adquiridas, las fresas se mantuvieron en refrigeración (5 °C) hasta antes de realizar el tratamiento, con la finalidad de reducir los procesos metabólicos y así conseguir un menor arrugamiento del fruto (Almenar, 2005).

### **Selección**

Las fresas orgánicas variedad Chandler fueron seleccionadas en base al daño mecánico, presencia de moho, tamaño y estado de madurez, con la finalidad de homogenizar las muestras (Pastor, 2010).

### **Clasificación**

Las fresas orgánicas variedad Chandler fueron clasificadas en base a un diámetro de 2.6 cm con la finalidad de obtener muestras homogéneas en los tratamientos correspondientes (Espinoza, 2009).

### **Lavado y Desinfectado**

Las fresas orgánicas variedad Chandler fueron lavadas y desinfectadas, se preparó una solución con hipoclorito de sodio 50 ppm y agua, las fresas se desinfectaron por inmersión por un tiempo de 5 minutos con la finalidad de eliminar microorganismos presentes en la zona externa de dicho fruto.

### **Ecurrido**

Luego del lavado y desinfección las fresas orgánicas variedad Chandler fueron escurridas con la finalidad de eliminar el agua y se almacenaron a temperatura ambiente.

### **Recubrimiento de los Frutos**

A las fresas orgánicas variedad Chandler previamente desinfectadas se aplicaron los recubrimientos comestibles mediante el método de inmersión por un tiempo de 1 minuto, donde la temperatura del recubrimiento comestible fue de 15 °C, luego del tiempo de inmersión se retiraron y se dejaron escurrir para retirar el recubrimiento sobrante.

### **Secado**

El secado de las fresas orgánicas variedad Chandler con recubrimiento comestible fue por un tiempo de 1 hora a una temperatura de 20 °C (Colla, Sobral, & Menegalli, 2006; Restrepo & Aristizábal, 2010; Vargas, Albors, Chiralt, & González, 2006).

### **Empacado**

Las fresas orgánicas variedad Chandler con recubrimiento comestible fueron empacadas en envases de plástico que tenían orificios para permitir el paso de respiración de dicho fruto (Restrepo & Aristizábal, 2010; Vargas *et al.*, 2006).

### **Almacenamiento**

Las fresas orgánicas variedad Chandler con recubrimiento comestible previamente empacadas, se almacenaron en una refrigeradora a una temperatura de 5 °C con la finalidad de reducir la tasa de respiración y evitar cambios en los resultados correspondiente (Almenar, 2005; Ouattara, Sabato, & Lacroix, 2002; Vargas *et al.*, 2006).

- Para la obtención de los recubrimientos comestibles se utilizó almidón nativo y modificado de papa, almidón nativo y modificado de chuño, glicerol y Tween 60 según el tratamiento correspondiente, tal como se muestra en la Tabla 11.

**Tabla 11: Composición de los recubrimientos comestibles formulados**

| Tratamientos | Almidón (%) | Glicerol (%) | Tween 60 (%) | Agua |
|--------------|-------------|--------------|--------------|------|
| T1           | 2           | 1            | 0.1          | 96.9 |
| T2           | 2           | 1            | 0.1          | 96.9 |
| T3           | 2           | 1            | 0.1          | 96.9 |
| T4           | 2           | 1            | 0.1          | 96.9 |
| T5           | 2           | 1            | 0.1          | 96.9 |
| T6           | 2           | 1            | 0.1          | 96.9 |
| T7           | 2           | 1            | 0.1          | 96.9 |
| T8           | 2           | 1            | 0.1          | 96.9 |

Donde:

T1 = Tratamiento con almidón nativo de papa variedad Locka

T2 = Tratamiento con almidón nativo de papa variedad Yana Imilla

T3 = Tratamiento con almidón modificado de papa variedad Locka

T4 = Tratamiento con almidón modificado de papa variedad Yana Imilla

T5 = Tratamiento con almidón nativo de chuño variedad Locka

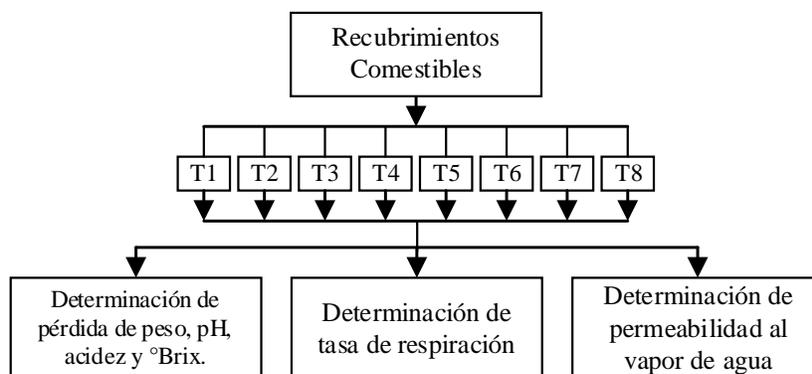
T6 = Tratamiento con almidón nativo de chuño variedad Yana Imilla

T7 = Tratamiento con almidón modificado de chuño variedad Locka

T8 = Tratamiento con almidón modificado de chuño variedad Yana Imilla

### **c. Diseño experimental**

El diseño experimental para el objetivo N°5, se muestra en la figura N°16.



**Figura 16. Diseño experimental para el objetivo N°5.**

**d. Diseño estadístico:** Para este objetivo se utilizó un diseño completamente azar (DCA) con tres replicas.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

La Matriz de diseño para el objetivo 5 se muestra a continuación:

**Tabla 12: Matriz del diseño experimental**

| Réplicas | Tasa de respiración | Permeabilidad al vapor de agua | Pérdida de peso | pH | Acidez | °Brix |
|----------|---------------------|--------------------------------|-----------------|----|--------|-------|
| T1       | R1                  |                                |                 |    |        |       |
|          | R2                  |                                |                 |    |        |       |
|          | R3                  |                                |                 |    |        |       |
| T2       | R1                  |                                |                 |    |        |       |
|          | R2                  |                                |                 |    |        |       |
|          | R3                  |                                |                 |    |        |       |
| T3       | R1                  |                                |                 |    |        |       |
|          | R2                  |                                |                 |    |        |       |
|          | R3                  |                                |                 |    |        |       |

<<continuación>>

---

|    |    |
|----|----|
|    | R1 |
| T4 | R2 |
|    | R3 |

---

|    |    |
|----|----|
|    | R1 |
| T5 | R2 |
|    | R3 |

---

|    |    |
|----|----|
|    | R1 |
| T6 | R2 |
|    | R3 |

---

|    |    |
|----|----|
|    | R1 |
| T7 | R2 |
|    | R3 |

---

|    |    |
|----|----|
|    | R1 |
| T8 | R2 |
|    | R3 |

---

**e. Métodos de análisis:**

**- Tasa de respiración:**

La determinación de tasa de respiración de las fresas con recubrimiento comestible en base a almidón nativo y modificado de papa, almidón nativo y modificado de chuño, glicerol y Tween 60 según el tratamiento correspondiente, se realizó según la metodología de Castelló, Fito, & Chiralt (2006) con algunas modificaciones, se utilizó un sistema de analizador de gases CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> (Vernier Go Direct Sensor de gas Oxígeno GDX - O<sub>2</sub> y Dióxido de Carbono GDX - CO<sub>2</sub>), con formado un envase de plástico y 2 sensores de los gases ya mencionados, se utilizó 220 g de fresas variedad Chandler con recubrimiento comestible para cada tratamiento, estas muestras se colocaron en el envase hermético que tenía un volumen de 2 litros, el envase tenía incorporado sensores de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> en la parte superior de la tapa, luego de colocar las muestras en el envase se colocó en un refrigerador el cual fue programado a

10 °C, la toma de datos en tiempo real se realizó por un tiempo de 10 horas, donde los sensores fueron configurados para tomar los valores de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> cada minuto, la tasa de respiración ( $R_i, ml, kg^{-1} h^{-1}$ ) de las de fresas variedad Chandler con recubrimiento comestible muestra dos característica o parámetros importantes tales como consumo de O<sub>2</sub> por parte de las fresas y le emisión o generación de CO<sub>2</sub> por parte de dicho fruto, estos valores se utilizaron para determinar la tasa de respiración, en base a la siguiente ecuación:

$$y_{it} = y_{i0} \pm 100R_i (M / V)t$$

Donde:  $y_{it}$  es la concentración de gas (% O<sub>2</sub>, % CO<sub>2</sub>) en el tiempo t, siendo  $i$  O<sub>2</sub> o CO<sub>2</sub>, M es la masa de las muestras frescas y V el volumen (ml) del espacio de cabeza. El cociente de respiración (RQ) se determinó como la relación entre la producción de CO<sub>2</sub> y el consumo de O<sub>2</sub>:

$$y_{it} = y_{i0} \pm 100R_i (M / V)t$$

El desarrollo de la concentración de gas fue medida en fresas con y sin recubrimiento a una temperatura de refrigeración de 10°C, así mismo la presente investigación se realizó en la ciudad de Juliaca a una altura de 3824 m.s.n.m.

#### **- Permeabilidad de vapor de agua:**

La Permeabilidad al vapor de agua de los recubrimientos comestibles se determinó gravimétricamente usando una versión modificada del método estándar E96-95 (ASTM, 1995) como lo describe (Rhim, 2004). Los recubrimientos comestibles se cortaron a un diámetro de 6 cm y luego se colocaron en botellas de pesaje mientras se ajustó la circunferencia con Parafilm, las botellas de pesaje contenían 10 ml de agua destilada, dejando un espacio de aire de 1 cm entre la superficie del agua y la película, el sistema se almacenó en un desecador que contenían una solución saturada de MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O a 33% HR y 25 °C. La tasa de transmisión de vapor de agua (WVTR) se registró a intervalos de 60 min durante 6 h. En primer lugar, se obtuvo la transferencia de agua de WVTR a través de la pendiente

del análisis de regresión de la pérdida de peso en función del tiempo (g/s), la cual se relaciona con la WVP según lo informado por Kaya & Kaya (2000) según las Ecs. (2) y (3):

$$WVTR = m_1 / A \quad (2)$$

$$WV = L / WVTR / (p_i - p_a) \quad (3)$$

Donde:  $m_1$  es la pendiente de la pérdida de peso frente al tiempo (g/s); A es el área expuesta ( $m^2$ );  $p_i$  y  $p_a$  son, respectivamente, las presiones parciales del vapor de agua en el aire y en el aire saturado al 33 % de HR a 25 °C; y L es el grosor medio (m) de tres réplicas de cada película, medido con un micrómetro.

#### **- Determinación de pérdida de peso, pH, acidez y °Brix.**

La determinación de pérdida de peso, pH, acidez y °Brix de las fresas con recubrimiento comestible se realizó cada 4 días por un periodo de 12 días.

#### **- Pérdida de peso:**

El porcentaje de pérdida de peso se determinó en base al peso inicial y al peso en el día de muestreo, la fórmula que se utilizó fue la siguiente (Muhammad *et al.*, 2021).

$$\text{Pérdida de peso total (\%)} = \left( \frac{\text{Peso del fruto el día 0} - \text{Peso del fruto el día del muestreo}}{\text{Peso del fruto el día 0}} \right) * 100$$

#### **- pH, sólidos solubles totales y acidez titulable:**

Para la determinación de pH se utilizó un pH-metro, para la determinación de °Brix se utilizó un refractómetro (Muhammad *et al.*, 2021). La acidez titulable se determinó mezclando 40 ml de agua destilada y 10 ml de jugo de fruta, se utilizó NaOH 0,1 N para la titulación y como indicador fenolftaleína, para calcular el porcentaje de acidez se utilizó la siguiente fórmula (Horwitz, 1980).

$$\text{Acidez titulable (\%)} = \left( \frac{\text{Cantidad de NaOH 0.1N utilizada} - 0.0064}{\text{Cantidad de ml de jugo}} \right) * 100$$

## **f. Materiales**

- Glicerol
- Tween 60
- Agua destilada
- PET bandejas para almacenamiento de fresas
- Amortiguador (plástico de burbujas)
- Caja térmica de Tecnopor

## **g. Equipos**

- Analizador de gases, marcar VERNIER Vernier LabQuest
- Sensores de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, marcar VERNIER
- Cámara de temperatura controlada, OSTER
- Centrífuga, marca BIO LION XC – L5
- Desecador
- Refractómetro
- pH-metro
- Agitador magnético con calentador
- Espectrofotómetro, marca CM-700d, KONICA MINOLTA

## **h. Reactivos**

- Etanol 95% v/v
- NaOH 1N
- Fenolftaleína (como indicador)
- Solución de yodo al 2%
- HCl 0.5N
- Ácido acético 1N
- Agua destilada
- NaOH 0.1N

### **3.5. HIPÓTESIS**

#### **a. Hipótesis general**

- Existen diferencias significativas en las características fisicoquímicas, térmicas y reológicas de almidones nativos y modificados de papa (*Solanum tuberosum*) y chuño para su uso en recubrimientos comestibles.

#### **b. Hipótesis específicas**

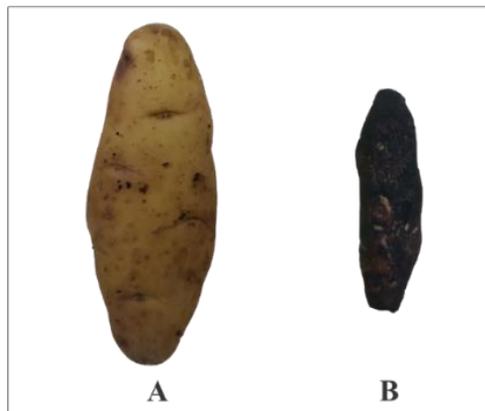
- Existe diferencia en la composición proximal en el chuño elaborado a partir de las variedades de papa Locka y Yana Imilla.
- Existe diferencia significativa entre las muestras de los almidones nativos con respecto al rendimiento.
- Existe diferencia significativa entre las muestras de los almidones modificados mediante acetilación con respecto a los atributos de color.
- Las propiedades fisicoquímicas, térmicas y reológicas son diferentes entre los almidones nativos y modificados de papa y chuño.
- La elaboración de un recubrimiento comestible con almidón nativo y modificado a partir de papa y chuño se puede aplicar a fresas.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO Y LA COMPOSICIÓN PROXIMAL DE CHUÑO A PARTIR DE LAS VARIEDADES DE PAPA LOCKA E IMILLA NEGRA

En la Figura 17 se muestra la papa amarga variedad Locka y su respectivo chuño que se obtuvo en la presente investigación, de la misma manera en la Figura 18 se muestra la papa dulce variedad Imilla Negra y su respectivo chuño.



*Figura 17.* (A) papa amarga variedad Locka y (B) chuño de la misma muestra de papa amarga variedad Locka.



*Figura 18.* (C) papa dulce variedad Imilla Negra y (D) chuño de la misma muestra de papa dulce variedad Imilla Negra.

Es importante conocer la relación entre las variedades de papa, procesos de congelación – descongelación. Hacemos esta referencia en base al objetivo específico que tuvo la presente investigación, el cual fue comparar el rendimiento y la composición proximal de chuño a partir de las variedades de papa Locka e Imilla Negra, en este sentido, mencionamos lo siguiente:

Las papas nativas utilizadas en la presente investigación fueron, papa dulce variedad Imilla Negra y papa amarga variedad Locka, respecto a las papas nativas dulces, se caracterizan por tener un sabor aceptable por el consumidor, sabor dulce y un contenido de glicoalcaloides bajo en su composición, por otra parte, las papas nativas amargas se caracterizan por tener un sabor amargo, tolerancia a temperaturas bajas (entre -5 a -3 °C) y un contenido de glicoalcaloides elevado (mayor a 20 mg/100g de peso fresco), en esta fresco esta variedad de papa no es apta para el consumidor, por lo tanto, tienen que pasar por un proceso de congelación y descongelación para eliminar la mayor cantidad de glicoalcaloides presentes en su composición, este proceso tradicional da como resultado el chuño, tunta y moraya según sea el caso (Cahuana & Arcos, 2002).

Respecto a los procesos de congelación de un alimento, se afirma que a finales del siglo XIX y inicios del siglo XX se dio a conocer la formación de hielo en las áreas extracelulares en un entorno natural o congelación natural (Maximov, 1914; Müller-Thurgau, 1886; Sachs, 1873). La congelación se origina por la nucleación de forma aleatoria del hielo, donde el fluido extracelular se caracteriza por contener un punto de congelación más elevado en comparación con la solución acuosa intracelular, además de contener agentes de nucleación en su composición de forma diferente (Ashworth, 1992).

El agua es el elemento más abundante en los alimentos frescos de origen celular, superando el 90% en la mayoría de frutas y verduras, y encontrándose entre el 60% y el 80% en carnes o pescados frescos (William, 2018). El tamaño, la forma y la distribución de los cristales de hielo que se generan durante el proceso de congelación están estrechamente relacionados con cómo se distribuye el agua. Además, en la congelación, el desplazamiento del agua entre diferentes compartimentos debido al daño en la estructura celular, junto con el efecto de la deshidratación, podría alterar la composición de los alimentos y provocar modificaciones en la textura, el color, el sabor y los nutrientes (Li, Zhu, & Sun, 2018).

Los procesos de congelación de las papas nativas desde hace muchos años se llevan a cabo con la finalidad de obtener chuño, este alimento se le atribuye el nombre de chuño liofilizado de forma natural, su origen comenzó antes del período Tiwanaku I (400 a. C.) (Goldstein, 2003). Dicho esto, se puede afirmar que, durante la transformación de papa a chuño, la humedad va disminuyendo de forma significativa, los procesos de congelación y descongelación dañan los tejidos de las distintas variedades de papa, luego de descongelar la papa, el agua se elimina presionando dicho alimento, un atributo muy importante del chuño es que contiene un porcentaje de humedad muy bajo, es por esta razón que la deshidratación es un método muy importante para poder conservar los alimentos durante más tiempo (Peñarrieta *et al.*, 2011).

La exposición de las variedades de papas nativas a bajas temperaturas durante la noche y altas temperaturas durante el día se considera una técnica muy importante para obtener chuño, sin embargo, estas temperaturas ya sean altas o bajas, no son constantes en el tiempo, es por ello que una alternativa para mantener la temperatura de congelación de forma constante es el uso de equipos como las congeladoras, así mismo buscar métodos para extraer el agua que no comprometan la inocuidad del producto final, porque de forma tradicional se tiene que pisar las papas descongeladas para poder extraer el agua (Christiansen, 1967).

Los mecanismos de transferencia de masa y calor pueden afectar la estructura celular de los alimentos, la congelación de alimentos es un proceso termodinámico característico que involucra la transferencia de calor y de masa (Li *et al.*, 2018). Este proceso incluye la cristalización del agua tanto dentro como fuera de las células, el movimiento de agua a través de las membranas celulares y el sistema de endomembranas en las células, y la nucleación de hielo y el crecimiento de cristales en el tejido del alimento (Delgado & Sun, 2001). En la mayoría de los estudios sobre transferencia de calor y masa durante la congelación de alimentos, se asume que los materiales celulares de los alimentos son materiales capilares porosos, lo que hace que el transporte de agua y calor en el proceso de congelación sea considerablemente más complejo que en materiales no porosos, los componentes estructurales celulares de los tejidos alimentarios se agrupan para formar una compleja matriz que retiene gran parte del agua, actuando así como barreras en la transferencia de agua y calor (Bronfenbrenner & Rabee, 2015; Datta, 2007b, 2007a).

Durante la congelación, el movimiento de agua se debe a la cristalización del agua local, dentro o fuera de las células, lo cual genera concentraciones locales elevadas. Como resultado, el agua no congelada adyacente a las células congeladas es atraída fuertemente hacia estas debido a la diferencia de presión osmótica (Li *et al.*, 2018). En los alimentos celulares vegetales, el agua se desplaza desde la sustancia fundamental citoplasmática a través de las membranas y paredes celulares hacia el espacio intercelular, o desde el interior de la vacuola, pasando por el tonoplasto hacia el citoplasma y luego hacia el espacio intercelular a través de las membranas y paredes celulares. Bertram, Andersen, & Andersen, 2007; Kirtil *et al* (2014), la congelación puede provocar la migración de agua en alimentos de origen tanto vegetal como animal, sin embargo, existen pocas investigaciones sobre la resistencia que oponen la membrana celular, la pared celular y otras endomembranas a la migración de agua durante la congelación de alimentos, la membrana celular obstaculiza la transferencia de calor durante la congelación, lo que conduce al sobreenfriamiento de la región intracelular, nucleándose a temperaturas considerablemente más bajas que el entorno extracelular.

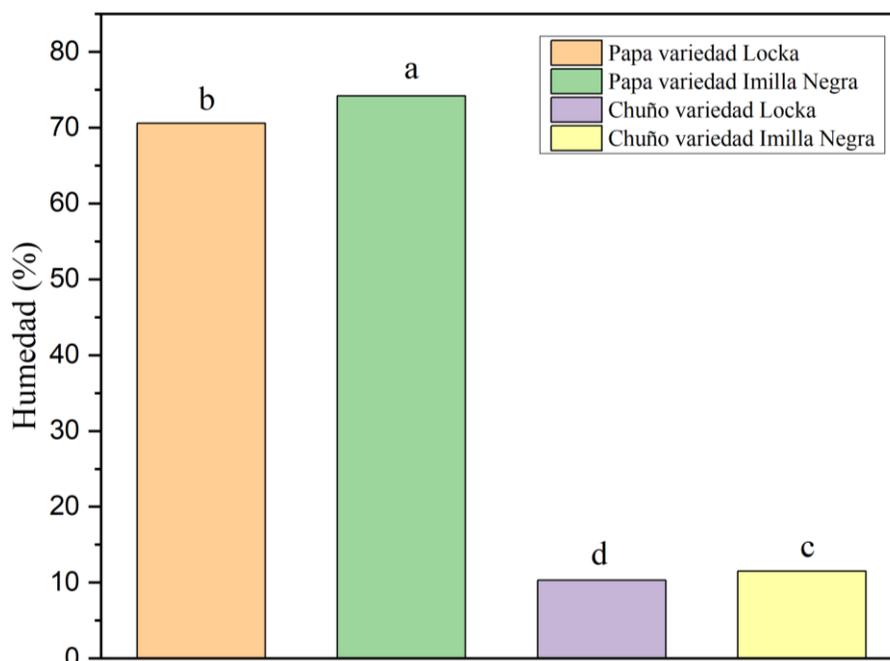
#### 4.1.1. Composición proximal

La composición proximal de las muestras de chuño de las variedades de papa Imilla Negra y Locka se presentan en la Tabla 13.

**Tabla 13: Composición proximal de las muestras de papa y chuño**

| Muestra                     | Humedad %                | Cenizas %               | Grasas %                | Fibra %                 | Proteínas %             | Carbohidratos %          |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Papa variedad Locka         | 70.6 ± 0.42 <sup>b</sup> | 4.9 ± 0.20 <sup>b</sup> | 0.9 ± 0.01 <sup>a</sup> | 3.2 ± 0.01 <sup>b</sup> | 8.2 ± 0.11 <sup>b</sup> | 12.2 ± 0.47 <sup>b</sup> |
| Papa variedad Imilla Negra  | 74.2 ± 0.50 <sup>a</sup> | 5.2 ± 0.12 <sup>a</sup> | 1.2 ± 0.04 <sup>a</sup> | 3.8 ± 0.11 <sup>a</sup> | 9.2 ± 0.21 <sup>a</sup> | 6.4 ± 0.86 <sup>c</sup>  |
| Chuño variedad Locka        | 10.3 ± 0.21 <sup>d</sup> | 1.0 ± 0.03 <sup>c</sup> | 0.4 ± 0.01 <sup>b</sup> | 0.6 ± 0.04 <sup>c</sup> | 1.7 ± 0.01 <sup>c</sup> | 86.1 ± 0.47 <sup>a</sup> |
| Chuño variedad Imilla Negra | 11.5 ± 0.11 <sup>c</sup> | 0.8 ± 0.03 <sup>c</sup> | 0.1 ± 0.03 <sup>b</sup> | 0.5 ± 0.03 <sup>c</sup> | 1.4 ± 0.03 <sup>d</sup> | 85.7 ± 0.16 <sup>a</sup> |

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según LSD de Fisher ( $p < 0.05$ ).

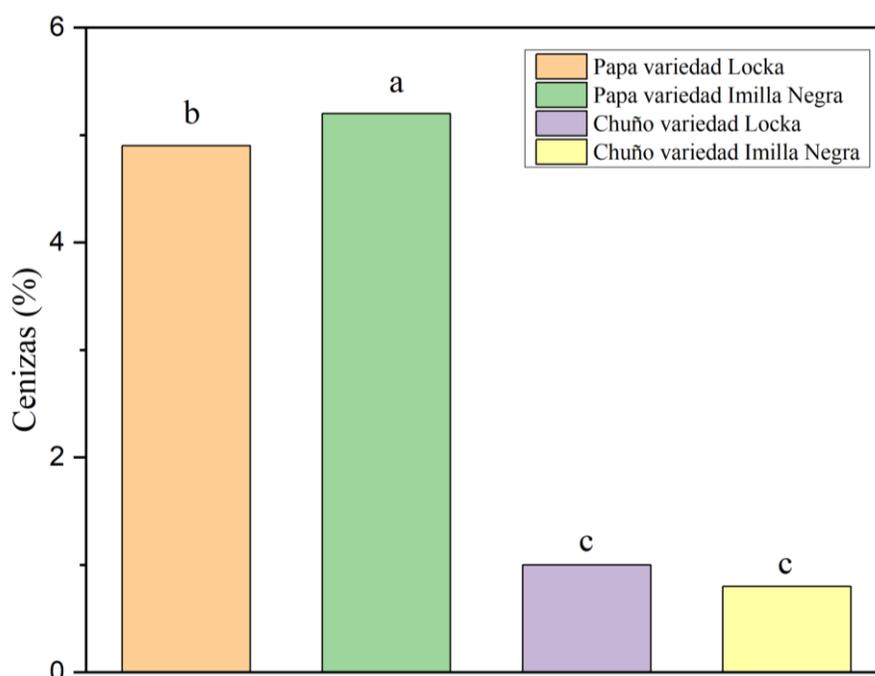


**Figura 19. Porcentaje de humedad en muestras de papa y chuño.**

Respecto al análisis de varianza para el porcentaje de humedad, el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 1, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en los porcentajes de humedad de las muestras de papa y chuño de las variedades correspondientes. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 2, se observa que la papa variedad Imilla Negra contiene el mayor porcentaje de humedad de 74.2 por ciento a diferencia del chuño variedad Locka con el menor porcentaje de humedad 10.3 por ciento.

En la Figura 19 se muestran los porcentajes de humedad en las muestras de papa y chuño las cuales oscilaron entre 10.3 a 74.2 por ciento. Se reportan valores de humedad de muestras de chuño que se oscilan entre 14 a 20 por ciento según (INS, 1996; Peñarrieta *et al.*, 2011; Zorn & Lieberman, 2010). Quispe (2009), reportó 12.45 por ciento de humedad para harina de chuño blanco y 12.63 por ciento de humedad (Allca & Sierra, 2022). Así mismo, los valores de humedad en harina de tunta y chuño oscilaron entre 8.82 y 7.80 por ciento respectivamente (Chilon & Mamani, 2019). Las bajas humedades que se reportan en muestras de chuño se deben a los procesos de deshidratación a los que son sometidos, luego del secado la papa puede perder hasta el 85 por ciento del agua (NTP, 2007). Las papas luego de los procesos

de congelación y descongelación se convierten en chuño o tunta según sea el caso, se recomienda que las harinas de tunda deben de contener 16 por ciento de humedad como máximo y el chuño un 14 por ciento (Fonseca & Ordinola, 2017; Quispe, 2009). Rea & Vacher, (1992) mencionan que tanto la tunta como el chuño tienen que contener bajo porcentaje de humedad menor al 12 por ciento, esta afirmación se sustenta porque el proceso para obtener chuño está relacionado con el secado al sol, así mismo se evita el crecimiento de microorganismos y la vida útil se alarga significativamente. Porcentajes bajos de humedad en muestras de harina de papa oscilaron entre 10.92 por ciento (Ceron *et al.*, 2014); la diferencia en los porcentajes de humedad se debe a los factores como el almacenamiento de dichas muestras, clima, postcosecha, procedencia, entre otros (Bonierbale *et al.*, 2004).

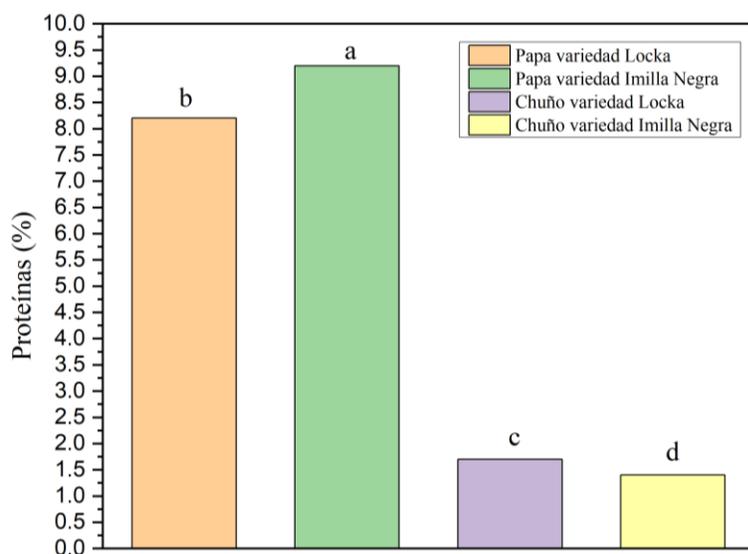


**Figura 20. Porcentaje de cenizas en muestras de papa y chuño.**

Respecto al análisis de varianza para el porcentaje de cenizas, el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 3, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en los porcentajes de cenizas de las muestras de papa y chuño de las variedades correspondientes. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 4, se muestra que la papa variedad Imilla Negra contiene la mayor

cantidad de cenizas de 5.2 por ciento y el chuño variedad Imilla negra contiene el menor porcentaje con un 0.8 por ciento de cenizas.

En la Figura 20 se muestran los porcentajes de cenizas en las muestras de papa y chuño las cuales oscilaron entre 0.8 a 5.2 por ciento. Se reportan valores de cenizas que oscilan entre 2 a 3 por ciento (INS, 1996; Quispe, 2007). Para harina de tunta y chuño el porcentaje de cenizas se encontró entre 0.33 y 1.01 por ciento (Chilon & Mamani, 2019). Riveros, (2009) reportó 2.03 y 0.36 por ciento de ceniza para harina de chuño y tunta respectivamente. El porcentaje de ceniza puede ser diferente a causa del uso de fertilizantes en variedades de papa amarga porque la ceniza es un componente fisicoquímico, entonces al utilizar fertilizantes los nutrientes de la papa pueden variar en especial los minerales (Gichuhi *et al.*, 2014). Córdova (2014) reporta 0.3 por ciento de ceniza para harina de papa, menciona que existen diferencia a causa del suelo en donde se realizó el cultivo, materia orgánica, y de igual forma esto afecta el porcentaje de nutrientes.

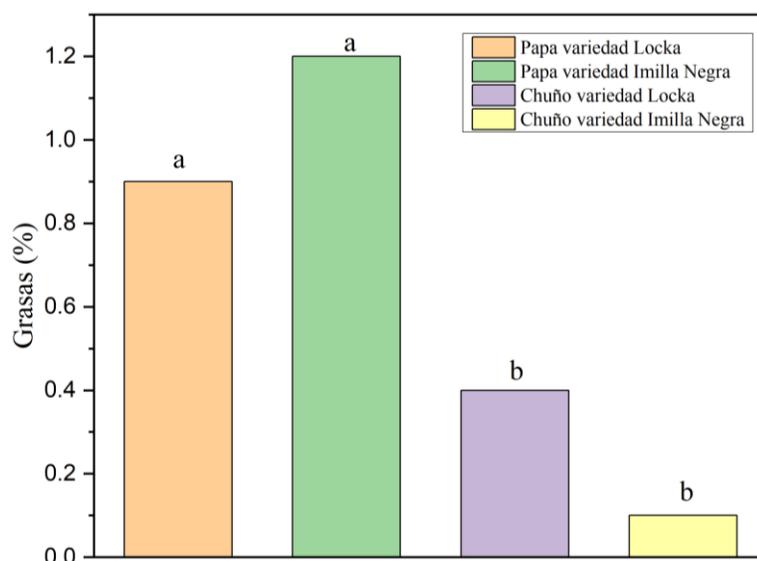


**Figura 21. Porcentaje de proteínas en muestras de papa y chuño.**

Respecto al análisis de varianza para el porcentaje de proteína, el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 5, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en los porcentajes de proteínas de las muestras de papa y chuño de las variedades correspondientes. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico

mostrado en el Anexo 6, donde la papa variedad Imilla Negra tiene mayor cantidad de proteínas de 9.2 por ciento y el chuño variedad Imilla negra se encuentra contiene el menor porcentaje de proteínas de 1.4 por ciento.

En la Figura 21 se muestran los porcentajes de proteínas en las muestras de papa y chuño las cuales oscilaron entre 1.4 a 9.2 por ciento. Se reportan valores de proteína que oscilan entre 0.6 a 4.5 por ciento (Burgos *et al.*, 2009; Horkheimer, 2004; Quispe, 2007; Woolfe, 1987). Por otra parte, Chilon & Mamani (2019) reporta 1.48 y 1.82 por ciento de proteína para harina de tunta y chuño respectivamente. Según Reyes *et al.* (2017) el contenido de proteínas para harina de tunta y chuño fue de 1.9 y 4.0 por ciento donde el porcentaje de la segunda muestra es significativamente mayor. Se recomienda que el porcentaje de proteína sea menor para que la absorción de humedad sea menor; por otra parte, para muestras de harina de papa se reportan valores de 1.63 por ciento de proteína (Ceron *et al.*, 2014; Kamal *et al.*, 2014). Así mismo 1.91 y 1.43 por ciento de proteína para harinas de papa (Quispe, 2009).

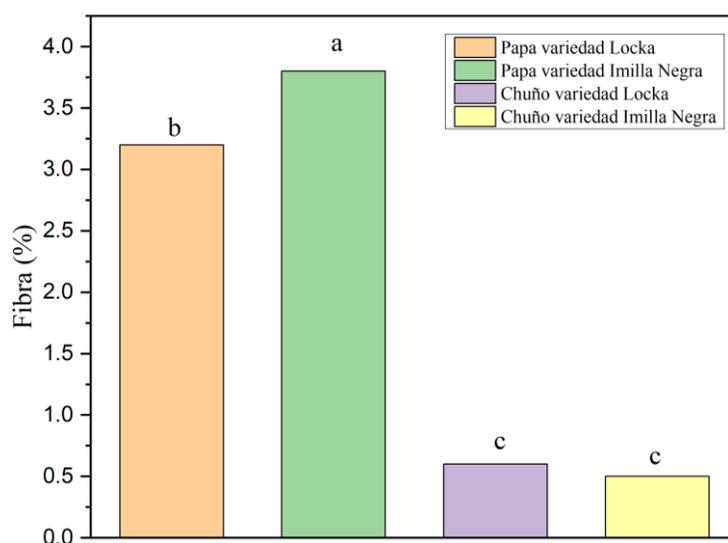


**Figura 22. Porcentaje de grasas en muestras de papa y chuño.**

Respecto al análisis de varianza para el porcentaje de grasa, el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 7, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en los porcentajes de grasa de las muestras de papa y chuño de las variedades correspondientes. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico

mostrado en el Anexo 8, se muestra que la papa variedad Imilla Negra tiene la mayor cantidad de proteínas de 1.2 por ciento y el chuño variedad Imilla negra contiene el menor porcentaje de cenizas 0.1 por ciento de grasa.

En la Figura 22 se muestran los porcentajes de grasas en las muestras de papa y chuño las cuales oscilaron entre 0.1 a 1.2 por ciento. Se reportan valores de 0.2 a 1.5 por ciento de grasa (Horkheimer, 2004; INS, 1996; Quispe, 2007). Para harina de chuño 0.31 por ciento (Allca & Sierra, 2022). Así mismo porcentaje de proteína que oscilan entre 0.02 y 0.12 por ciento para chuño y tunta respectivamente, este componente se relaciona con el contenido de carbohidratos donde la grasa presenta menores valores si la cantidad de carbohidratos es mayor (Chilon & Mamani, 2019). Reyes *et al.* (2017) reportan valores de grasa entre 0.5 a 0.2 por ciento para tunta y chuño respectivamente. Por otra parte, para papas amargas que se utilizaron para la elaboración de chuño el contenido de proteínas osciló entre 0.2 y 0.39 por ciento (Riveros, 2009).

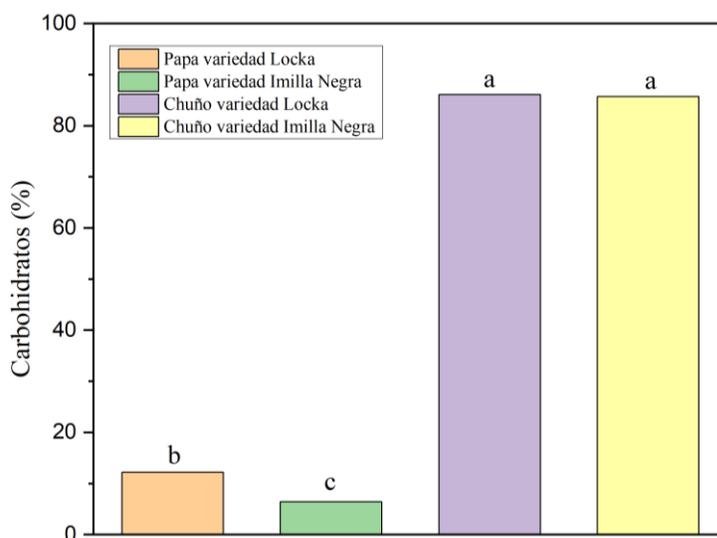


**Figura 23. Porcentaje de fibra en muestras de papa y chuño.**

Respecto al análisis de varianza para el porcentaje de fibra, el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 9, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en los porcentajes de fibra de las muestras de papa y chuño de las variedades correspondientes. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico

mostrado en el Anexo 10. Se reportan valor de fibra de 2.5 por ciento (Horkheimer, 2004). Por otra parte, 0.83 y 0.51 por ciento de fibra en muestras de tunta y chuño respectivamente, el porcentaje de fibra se relaciona con el refinamiento (Chilon & Mamani, 2019). Quispe (2009) reporta 0.83 por ciento de fibra para harina de papa.

Respecto al análisis de varianza para el porcentaje de carbohidratos, el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 11, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en los porcentajes de carbohidratos de las muestras de papa y chuño de las variedades correspondientes. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 12, se muestra que el chuño variedad Locka tiene la mayor cantidad de carbohidratos de 86.1 por ciento y la papa variedad Imilla Negra contiene en menor porcentaje de carbohidratos 6.4 por ciento.



**Figura 24. Porcentaje de carbohidratos en muestras de papa y chuño.**

En la Figura 24 se muestran los porcentajes de carbohidratos en las muestras de papa y chuño las cuales oscilaron entre 6.4 a 86.1 por ciento. Se reportan valores de carbohidratos que oscilan entre 88.84 para muestras de chuño y tunta (Chilon & Mamani, 2019), los resultados obtenidos en la presente investigación y los reportados por otras fuentes son mayores en comparación con Reyes *et al.*, (2017) quienes reportan valores entre 77.7 y 79.4 por ciento para muestra de chuño siendo estos menores. Fonseca & Ordinola (2017) reporta 80 por

ciento de carbohidratos para tunta y chuño; estos valores también son semejantes a Riveros, (2009) quienes reportan 80.15 y 83.23 por ciento carbohidratos para harinas de chuño y tunta respectivamente. Así mismo, Quispe (2009) reporta valores de carbohidratos que oscilan entre 84.28 y 80.15 para harina de papa Imilla Negra y harina de chuño respectivamente. Por otra parte, se reportan valores de 73.13, 72.33 y 75.30 por ciento para harinas de papa (Escobar & Verela, 2008; Ramesh & Rakesh, 2008; Zambrano & Quintero, 2011), estos valores son menores en comparación a las harinas de chuño y tunta porque en el proceso para elaborar chuño o tunta se pierde mucha agua a causa del secado por lo tanto el contenido de nutrientes se altera; así mismo existe diferencia a causa de la variedad, clima entre otras características (Zorn & Sue, 2004).

Las características fisicoquímicas de las papas y chuño son muy diferentes, especialmente resalta el porcentaje de agua que se pierde durante la deshidratación de la papa para poder obtener chuño, esto se debe a que los cristales de hielo formados originan el rompimiento y alejamiento de las paredes citológicas, causando la pérdida de la distribución física de los tejidos de la papa, proporcionando el traslado del agua (Qian *et al.* 2022); y haciendo posible la extracción del agua, y la pérdida de algunos compuestos nutricionales (Ando *et al.*, 2019; Chassagne-Berces *et al.*, 2010).

#### 4.1.2. RENDIMIENTO TOTAL EN LA ELABORACIÓN DE CHUÑO

El rendimiento total en la elaboración de chuño a partir de las papas nativas Imilla Negra y Locka se presentan en la Tabla 14.

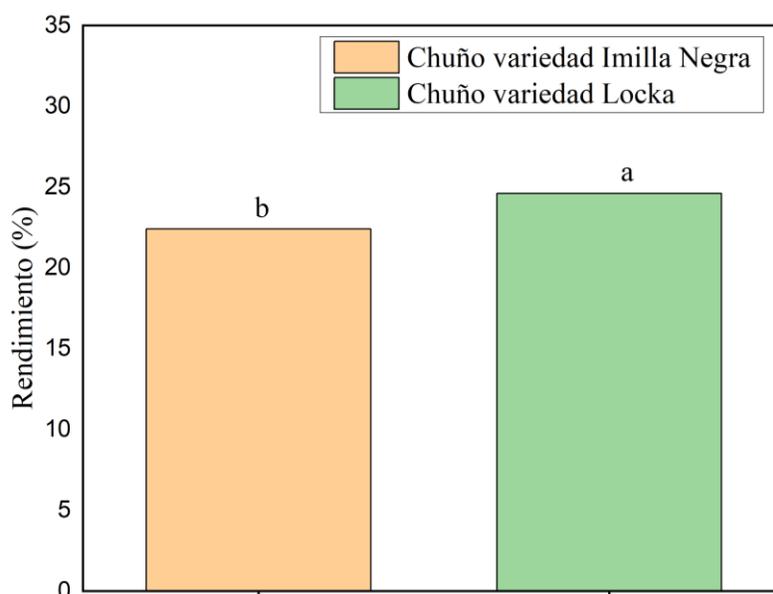
**Tabla 14: Rendimiento total en la elaboración de chuño**

| Datos                                    | Papa variedad Imilla Negra | Papa variedad Locka      |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Peso inicial de papa (Kg)                | 10.01 ± 0.01               | 10.01 ± 0.01             |
| Peso final de chuño (Kg)                 | 2.24 ± 0.05                | 2.46 ± 0.05              |
| Peso perdido (cáscara, agua, otros) (Kg) | 7.77 ± 0.06                | 7.55 ± 0.04              |
| Rendimiento %                            | 22.4 ± 0.52 <sup>b</sup>   | 24.6 ± 0.49 <sup>a</sup> |

Las letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas, según LSD de Fisher (p<0.05).

Respecto al análisis de varianza para el rendimiento total en la elaboración de chuño, el p-valor fue 0.013 mostrado en el Anexo 13, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en el rendimiento total en la elaboración de chuño a partir de las variedades de papa Imilla Negra y Locka. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 14, se muestra que el chuño variedad Locka tiene el mayor rendimiento 24.6 por ciento y chuño variedad Imilla Negra tiene el menor rendimiento 22.4 por ciento.

En la Figura 25 se muestran los porcentajes de rendimiento de chuño Imilla Negra y chuño Locka las cuales oscilaron entre 22.4 a 24.6 por ciento. Se reportan rendimientos de elaboración de chuño a partir de variedades de papa como Chiara imilla, Huyacha paceña, Capiro y Wuila imilla que oscilaron entre 24.18, 24.18, 20.09 y 20.09 por ciento respectivamente, el proceso para la elaboración de chuño fue de forma tradicional utilizando, además la temperatura de congelación osciló entre -3 a -9.7 °C (Riveros, 2009).



**Figura 25. Rendimiento total en la elaboración de chuño.**

## 4.2. EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE LOS ALMIDONES NATIVOS DE PAPA Y CHUÑO.

### 4.2.1. Rendimiento de la extracción del almidón

El rendimiento de extracción de los almidones de papa y chuño de las variedades Locka e Imilla Negra se muestran en la Tabla 15.

**Tabla 15: Porcentaje de rendimiento de los almidones.**

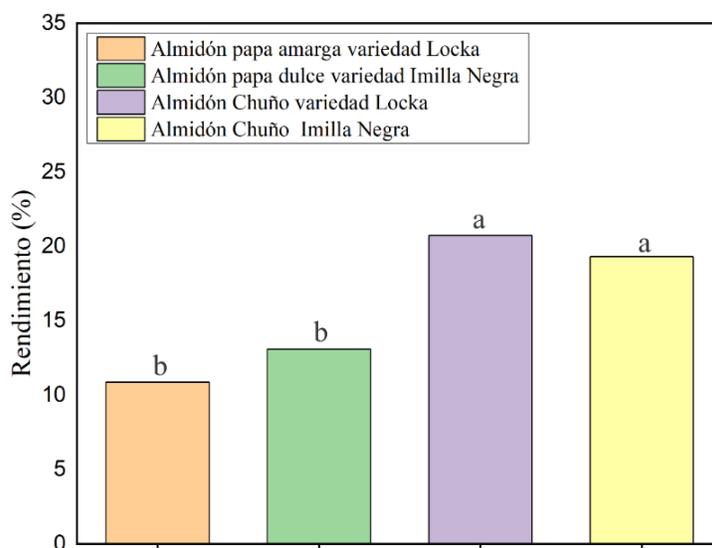
| Muestra                                | Rendimiento %             |
|--|---------------------------|
| Almidón de papa Locka                  | 10.86 ± 0.82 <sup>b</sup> |
| Almidón de papa Imilla Negra           | 13.07 ± 0.68 <sup>b</sup> |
| Almidón de chuño variedad Locka        | 20.73 ± 1.36 <sup>a</sup> |
| Almidón de chuño variedad Imilla Negra | 19.30 ± 1.22 <sup>a</sup> |

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según LSD de Fisher ( $p < 0.05$ ).

Respecto al análisis de varianza para el porcentaje de rendimiento de los almidones de papa y chuño, el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 15, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en los porcentajes de rendimiento de los almidones ya mencionados. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 16, se muestra que el almidón de chuño Locka tiene el mayor rendimiento 20.73 por ciento y el almidón de papa Locka tiene el menor rendimiento 10.86 por ciento.

En la Figura 26 se muestran los porcentajes de rendimiento de almidón de papa y chuño las cuales oscilaron entre 10.86 a 20.73 por ciento. Se reportan rendimientos de 15.63 por ciento para muestras de *Solanum phureja* donde se acondicionó parámetros como la temperatura y el pH con la finalidad de aumentar dicho rendimiento (Gonzales *et al.*, 2012). Así mismo el rendimiento para almidones osciló entre 8.67 a 22.72 por ciento (Zarate-polanco *et al.*, 2013). Para almidones de papa se obtuvo valores que oscilan entre 6.58 a 10.19 resaltando el almidón de papa Imilla Negra con un 7.06 por ciento y la papa Locka alcanzando un 6.58 por ciento.

Barrera, Tapia, & Monteros (2004) reporta 16.13 por ciento de rendimiento para papa variedad ecuatoriana. El rendimiento de extracción de almidón depende de muchos factores como la madurez del tubérculo, porque al terminar la cosecha las distintas variedades de papa al contener almidón este se hidroliza (Zarate-polanco *et al.*, 2013).



**Figura 26. Porcentaje de rendimiento de los almidones de papa y chuño.**

Así mismo el porcentaje de almidón que contienen los tubérculos disminuyen de forma progresiva cuando comienzan a madurar (Arcila *et al.*, 2002), es por ello que se recomienda que la extracción de almidón se realice luego de la cosecha de dicho tubérculo con la finalidad de obtener rendimientos de almidón elevados. Barrera *et al.* (2004) mencionan que existe una relación entre el tamaño de los gránulos de almidón y su rendimiento, variedad de papa, entre otros.

Por otra parte, el rendimiento se puede ver afectado a causa de pérdidas que se originan durante el proceso de extracción a nivel laboratorio (Zarate-polanco *et al.*, 2013). Garnica, Contreras, Romero, & Del Socorro Cerón (2010) afirman que el rendimiento de extracción puede disminuir a causa de las irregularidades en la forma de los tubérculos, esto no permite que se retire la cáscara de forma eficiente y origina pérdida de almidón, dicha pérdida puede llegar al 20 por ciento en relación al peso de la papa.

Barrera *et al.* (2004) mencionan que el rendimiento es mayor en papas con forma regular en comparación a papas con forma irregular, de igual forma su tamaño, dicho rendimiento oscila entre 8.51 a 16.00 por ciento.

Por otra parte, se reportan rendimientos elevados en almidones de tunta que oscilaron entre 33.29 a 69.61 por ciento dicho rendimiento se relaciona con el uso de 0.20 % NaOH y 2500 RPM, así mismo para almidones de chuño se alcanzaron rendimientos de 44.89 a 73.28 por ciento donde se utilizó 0.25 % NaOH y 4500 RPM (Chilon & Mamani, 2019).

Rendimientos en almidones de papa oscilaron entre 54.33 a 58.78 por ciento (Espinoza, 2012); datos muy similares según lo reportado por Forsyth *et al.* (2002) para almidones de papa alcanzando un 58.6 por ciento. En almidones de *Solanum tuberosum andigena* se reportó 50.77 a 76.32 por ciento y 52.31 a 77.76 por ciento para *Solanum tuberosum Phureja* (Rodríguez, 2013). De igual forma, Hoover, (2001); Vargas (2015) reportaron rendimientos de 32 y 16.50 por ciento para almidones de papa respectivamente.

### **4.3. DETERMINACIÓN DE COLOR**

#### **4.3.1. Determinación de color en almidones nativos y modificados**

La modificación por acetilación es un método químico de sustitución, esto implica la introducción de un grupo acetilo en la cadena principal del gránulo de almidón nativo o polimérico (Singh *et al.*, 2004). Luego de realizar la modificación de los almidones de papa y chuño se realizó la determinación de color con la finalidad de ver cambios en los parámetros  $L^*$   $a^*$   $b^*$ . En la Tabla 16 se muestran los resultados de los parámetros ya mencionados.

Respecto al análisis de varianza para el parámetro de color  $L^*$ , el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 17, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en el parámetro de color  $L^*$  de los almidones nativos y modificados de papa y chuño de las variedades correspondientes.

Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 18, se muestra una clasificación por categorías, donde el almidón de papa locka modificado con 15 ml de anhídrido acético mostró la mayor luminosidad ( $L^*$ ) 97.32 y el almidón de chuño Imilla mostró la menor luminosidad ( $L^*$ ) 74.59

Respecto al análisis de varianza para el parámetro de color  $a^*$ , el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 19, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en el parámetro de color  $a^*$  de los almidones nativos y modificados de papa y chuño de las variedades correspondientes. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 20, se muestra una clasificación por categorías, donde el almidón de chuño Imilla modificado con 5 ml de anhídrido acético mostró el mayor valor respecto al parámetro ( $a^*$ ) 0.85 y el almidón de papa Locka mostró el menor valor respecto al parámetro ( $a^*$ ) -1.17.

Respecto al análisis de varianza para el parámetro de color  $b^*$ , el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 21, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en el parámetro de color  $B^*$  de los almidones nativos y modificados de papa y chuño de las variedades correspondientes. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 22, se muestra una clasificación por categorías, donde el almidón de chuño Imilla Negra modificado con 5 ml de anhídrido acético mostró el mayor valor respecto al parámetro ( $b^*$ ) 5.06 y el almidón de papa Locka modificado con 15 ml de anhídrido acético mostró el menor valor respecto al parámetro ( $b^*$ ) 1.13.

En la presente investigación los almidones nativos y modificado de papa y chuño mostraron valores de luminosidad significativamente diferentes los cuales oscilaron entre 74.59 a 97.32; en este sentido valores mayores a 90 indican una elevada pureza del almidón (Boudries *et al.*, 2009; Konuma, Rolle, & Boromthanasarat, 2012). Respecto a los valores del indicador  $a^*$  oscilaron de almidones nativos y modificados oscilaron entre -1.17 a 0.85; estos valores tienden a cero indicando su tendencia al color neutro (Joaqui & Villada, 2013).

Sin embargo, si consideramos el parámetro a\* como coordenadas rojo (+a) y verde (-a) (Chilon & Mamani, 2019), existen muestras de almidones nativos y modificados que muestran un intensidad roja o verde según sea el caso. Y los valores del indicador b\* para almidones nativos y modificados de papa y chuño oscilaron entre 1.13 a 5.06; estos valores indican tendencia al color amarillo (b\* positivo) a causa de contenido residual de componente como los lípidos y proteínas (Boudries *et al.*, 2009), también la presencia de pigmentos amarillos del tubérculo genera la tendencia a un color amarillo (Cruz-Tirado, Vejarano, Tapia-Blácido, Barraza-Jáuregui, & Siche, 2019).

**Tabla 16: Análisis de color de almidones de nativos y modificados de papa y chuño.**

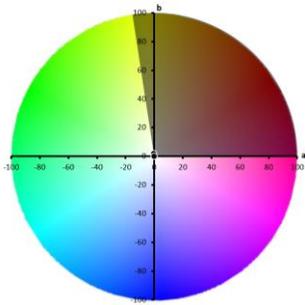
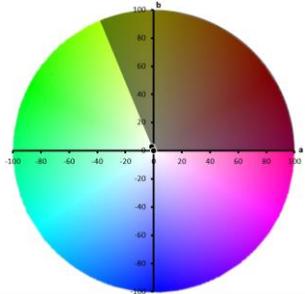
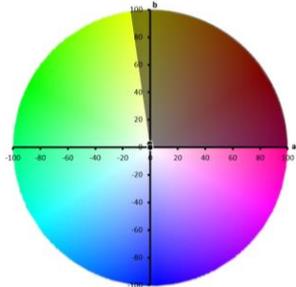
| Muestra   | L*                         | a*                            | b*                         |
|-----------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| APL       | 93.16 ± 0.09 <sup>cd</sup> | -0.28 ± 0.05 <sup>efgh</sup>  | 1.82 ± 0.05 <sup>de</sup>  |
| APL 5ML   | 94.45 ± 0.43 <sup>bc</sup> | -1.17 ± 0.10 <sup>i</sup>     | 2.84 ± 0.38 <sup>bc</sup>  |
| APL 10 ML | 96.23 ± 0.12 <sup>a</sup>  | -0.36 ± 0.06 <sup>fgh</sup>   | 2.49 ± 0.05 <sup>bcd</sup> |
| APL 15 ML | 97.32 ± 0.41 <sup>a</sup>  | -0.11 ± 0.03 <sup>cdefg</sup> | 1.13 ± 0.08 <sup>e</sup>   |
| API       | 92.57 ± 0.58 <sup>d</sup>  | -0.25 ± 0.03 <sup>efg</sup>   | 2.20 ± 0.04 <sup>cd</sup>  |
| API 5ML   | 95.88 ± 0.47 <sup>ab</sup> | -0.38 ± 0.04 <sup>gh</sup>    | 1.80 ± 0.54 <sup>de</sup>  |
| API 10 ML | 93.62 ± 0.25 <sup>cd</sup> | -0.51 ± 0.03 <sup>gh</sup>    | 2.04 ± 0.69 <sup>d</sup>   |
| API 15 ML | 96.50 ± 0.09 <sup>a</sup>  | -0.82 ± 0.07 <sup>hi</sup>    | 1.99 ± 0.42 <sup>d</sup>   |
| ACL       | 78.90 ± 0.08 <sup>h</sup>  | 0.55 ± 0.05 <sup>ab</sup>     | 2.95 ± 0.50 <sup>bc</sup>  |
| ACL 5ML   | 79.69 ± 0.78 <sup>gh</sup> | 0.19 ± 0.05 <sup>bcdef</sup>  | 2.89 ± 0.43 <sup>b</sup>   |
| ACL 10 ML | 84.65 ± 0.40 <sup>e</sup>  | 0.33 ± 0.78 <sup>abcd</sup>   | 2.83 ± 0.34 <sup>bc</sup>  |
| ACL 15 ML | 82.52 ± 0.78 <sup>f</sup>  | -0.19 ± 0.06 <sup>defg</sup>  | 3.07 ± 0.36 <sup>b</sup>   |
| ACI       | 75.99 ± 0.18 <sup>i</sup>  | 0.37 ± 0.37 <sup>bc</sup>     | 4.78 ± 0.26 <sup>a</sup>   |
| ACI 5ML   | 74.59 ± 1.58 <sup>i</sup>  | 0.85 ± 0.21 <sup>a</sup>      | 5.06 ± 0.09 <sup>a</sup>   |
| ACI 10 ML | 78.23 ± 0.95 <sup>h</sup>  | 0.55 ± 0.11 <sup>ab</sup>     | 4.35 ± 0.58 <sup>a</sup>   |
| ACI 15 ML | 80.71 ± 1.84 <sup>g</sup>  | 0.23 ± 0.61 <sup>bcde</sup>   | 4.57 ± 0.36 <sup>a</sup>   |

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según LSD de Fisher (p<0.05).

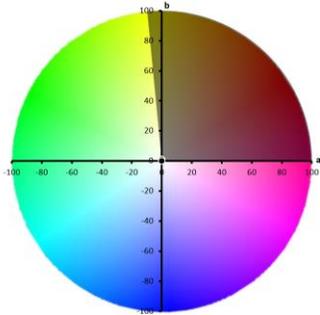
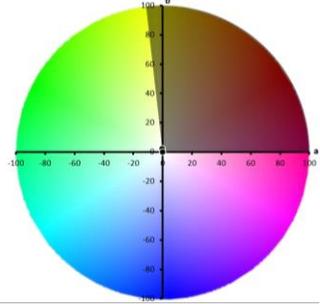
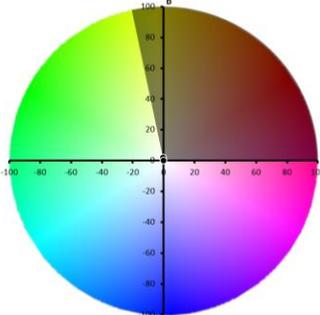
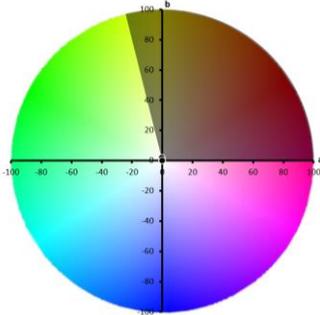
En relación a los parámetros de color L\*a\*b\* se reportan los siguientes valores, para gránulos de almidón de maíz los parámetros de color L\*, a y \*b\* fueron de 97.4, 0.05, y 2.6 respectivamente (Singh *et al.*, 2014). Para almidón de papa se obtuvieron valores de 98.81, 0.16 y 2.58 para los parámetros L\*, a y \*b\* (Verma *et al.*, 2018).

Por otra parte, para almidón de chuño y tunta el parámetro de color  $L^*$  fue de 67.33 y 76.53 respectivamente, (Chilon & Mamani, 2019). Respecto al almidón de papa la luminosidad es significativamente mayor con un 94.46 a diferencia de valores menores en almidones de tunta y chuño, esto se debe al proceso de deshidratación que se realiza en la elaboración de tunta y chuño (Fatemesh & Abdorreza, 2014).

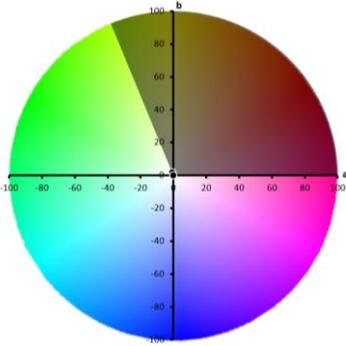
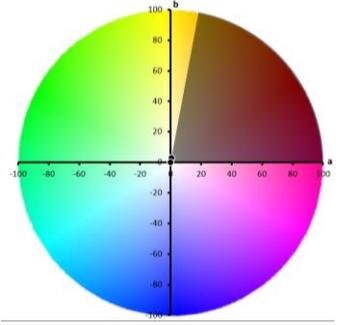
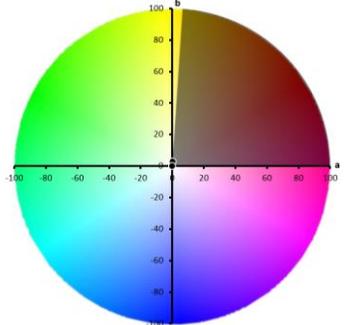
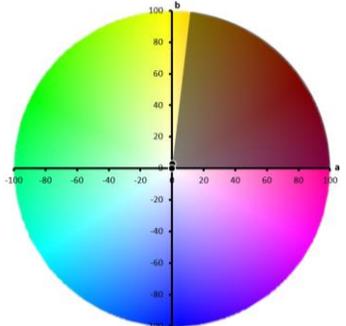
**Tabla 17: Color de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Almidón     | CIELab   | Fotografía  | Gráfico   |
|-------------|--|---|---|
| APL         | $L^*$ : 93.16<br>$a^*$ : -0.28<br>$b^*$ : 1.82 |    |    |
| APL<br>5ML  | $L^*$ : 94.45<br>$a^*$ : -1.17<br>$b^*$ : 2.84 |  |  |
| APL<br>10ML | $L^*$ : 96.23<br>$a^*$ : -0.36<br>$b^*$ : 2.49 |  |  |

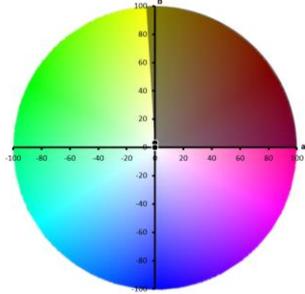
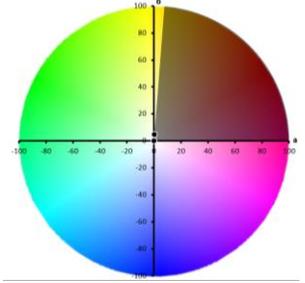
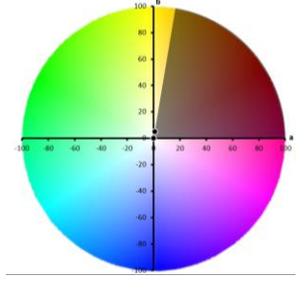
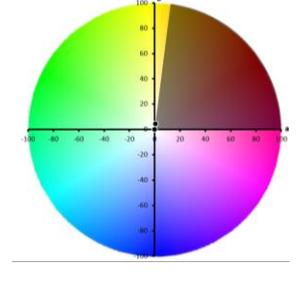
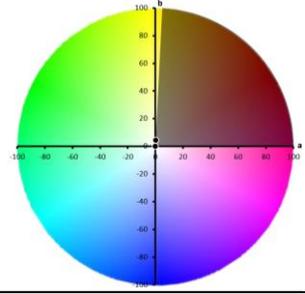
<<continuación>>

|             |  |   |   |
|-------------|--|---|---|
| APL<br>15ML | $L^*$ : 97.32<br>$a^*$ : -0.11<br>$b^*$ : 1.13 |    |    |
| API         | $L^*$ : 92.57<br>$a^*$ : -0.25<br>$b^*$ : 2.20 |    |    |
| API 5ML     | $L^*$ : 95.88<br>$a^*$ : -0.38<br>$b^*$ : 1.80 |  |  |
| API<br>10ML | $L^*$ : 93.62<br>$a^*$ : -0.51<br>$b^*$ : 2.04 |  |  |

<<continuación>>

|             |  |   |   |
|-------------|--|---|---|
| API<br>15ML | $L^*$ : 96.50<br>$a^*$ : -0.82<br>$b^*$ : 1.99 |    |    |
| ACL         | $L^*$ : 78.90<br>$a^*$ : 0.55<br>$b^*$ : 2.95  |    |    |
| ACL<br>5ML  | $L^*$ : 79.69<br>$a^*$ : 0.19<br>$b^*$ : 2.98  |  |  |
| ACL<br>10ML | $L^*$ : 84.65<br>$a^*$ : 0.33<br>$b^*$ : 2.83  |  |  |

<<continuación>>

|             |   |   |   |
|-------------|---|---|---|
| ACL<br>15ML | $L^*: 82.52$<br>$a^*: -0.19$<br>$b^*: 3.07$ |    |    |
| ACI         | $L^*: 75.99$<br>$a^*: 0.37$<br>$b^*: 4.78$  |    |    |
| ACI<br>5ML  | $L^*: 74.59$<br>$a^*: 0.85$<br>$b^*: 5.06$  |   |   |
| ACI<br>10ML | $L^*: 78.63$<br>$a^*: 0.55$<br>$b^*: 4.35$  |  |  |
| ACI<br>15ML | $L^*: 80.71$<br>$a^*: 0.23$<br>$b^*: 4.57$  |  |  |

#### **4.4. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE ALMIDONES NATIVOS Y MODIFICADOS DE PAPA Y CHUÑO (*Solanum tuberosum*).**

Es importante conocer la relación entre las variedades de papa, procesos de congelación – descongelación y la modificación con anhídrido acético. Hacemos esta referencia en base al objetivo específico que tuvo la presente investigación, el cual fue caracterizar las propiedades fisicoquímicas de los almidones nativos y modificados de papa y chuño, en este sentido, mencionamos lo siguiente:

Las papas nativas utilizadas en la presente investigación fueron, papa dulce variedad Imilla Negra y papa amarga variedad Locka, respecto a las papas nativas dulces, se caracterizan por tener un sabor aceptable por el consumidor, sabor dulce y un contenido de glicoalcaloides bajo en su composición, por otra parte, las papas nativas amargas se caracterizan por tener un sabor amargo, tolerancia a temperaturas bajas (entre -5 a -3 °C) y un contenido de glicoalcaloides elevado (mayor a 20 mg/100g de peso fresco), en esta fresco esta variedad de papa no es apta para el consumidor, por lo tanto, tienen que pasar por un proceso de congelación y descongelación para eliminar la mayor cantidad de glicoalcaloides presentes en su composición, este proceso tradicional da como resultado el chuño, tunta y moraya según sea el caso (Cahuana & Arcos, 2002).

Durante la congelación, el movimiento de agua se debe a la cristalización del agua local, dentro o fuera de las células, lo cual genera concentraciones locales elevadas. Como resultado, el agua no congelada adyacente a las células congeladas es atraída fuertemente hacia estas debido a la diferencia de presión osmótica (Li *et al.*, 2018).

En los alimentos celulares vegetales, el agua se desplaza desde la sustancia fundamental citoplasmática a través de las membranas y paredes celulares hacia el espacio intercelular, o desde el interior de la vacuola, pasando por el tonoplasto hacia el citoplasma y luego hacia el espacio intercelular a través de las membranas y paredes celulares, la congelación puede provocar la migración de agua en alimentos de origen tanto vegetal como animal, sin embargo, existen pocas investigaciones sobre la resistencia que oponen la membrana celular, la pared celular y otras endomembranas a la migración de agua durante la congelación de alimentos, la membrana celular obstaculiza la transferencia de calor durante la congelación,

lo que conduce al sobreenfriamiento de la región intracelular, nucleándose a temperaturas considerablemente más bajas que el entorno extracelular. (Bertram *et al.*, 2007; Kirtil *et al.*, 2014).

Respecto a la modificación química del almidón con anhídrido acético, consiste en la reacción del almidón con anhídrido acético y acetato de vinilo, y puede llevarse a cabo en presencia de un catalizador alcalino (hidróxido de sodio), agua o un solvente orgánico, La acetilación también afecta las propiedades funcionales del almidón nativo, con el proceso de acetilación, la capacidad de absorción de agua del almidón se incrementa, dado que los gránulos de almidón nativo están fuertemente interconectados, presentan una menor capacidad de unión al agua, mediante la acetilación, se introducen grupos acetilo, lo que puede reducir la densidad del polímero de almidón, generar un impedimento estérico, facilitar el acceso del agua al área amorfa y mejorar la capacidad de absorción de agua (Suri & Singh, 2023). El contenido de amilosa se incrementa de manera gradual con el aumento en el grado de sustitución del grupo hidroxilo de los azúcares por el grupo acetilo (Ashogbon *et al.*, 2021).

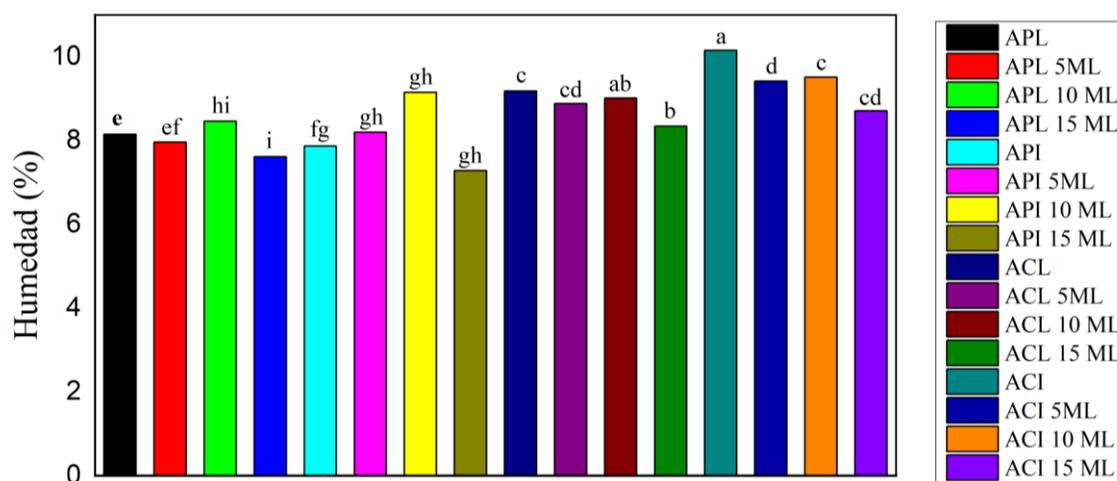
La composición fisicoquímica de los almidones nativos y modificados de papa y chuño se presentan en la Tabla 18 y los análisis estadísticos se muestran en el Anexo 1.

Respecto al análisis de varianza para el porcentaje de humedad, el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 23, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en los porcentajes de humedad de los almidones nativos y modificados de papa y chuño de las variedades correspondientes. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 24, se muestra una clasificación por categorías, donde el almidón de chuño Imilla Negra muestra la mayor cantidad de humedad de 10.5 por ciento y el almidón de papa Imilla Negra modificado con 15 ml de anhídrido acético tiene el menor porcentaje de humedad de 7.28 por ciento.

En la Figura 27 se observa que el contenido de humedad en los almidones nativos y modificados de papa y chuño osciló entre 7.28 a 10.15 por ciento, se observa una disminución y aumento en el porcentaje de humedad de los almidones modificados con anhídrido acético respecto a su homólogo o almidón nativo; así mismo todas las muestras de almidón presentan

valores inferiores al 20 por ciento el cual es considerado como el límite superior que un almidón puede contener (Przetaczek-Rożnowska, 2017), se recomienda que la humedad de los almidones sea menor al 20 por ciento para asegurar el almacenamiento (Kemi *et al.*, 2013).

Así mismo Falade & Christopher (2015) mencionan que la estabilidad de los almidones durante el almacenamiento se relaciona con su porcentaje de humedad, el cual debe de ser menor para tener una actividad de agua baja. Niveles de humedad elevados en muestras de almidón pueden ocasionar su deterioro y disminuir su calidad, el almidón puede contener de 6 a 20 por ciento de humedad, así mismo el porcentaje depende del tipo de secado (Moorthy, 2002). Mencionan que la alta estabilidad de los almidones cuando son almacenados depende de los niveles inferiores de humedad (Yousif *et al.*, 2012). La tunta y el chuño contienen almidones que poseen porcentajes de humedad bajos, según Lipa & Maquera (2013) reportan valores de 9.50 y 10.90 por ciento de humedad para almidones de tunta y chuño respectivamente, así mismo la baja humedad se sustenta en el proceso de secado al que son sometidos las variedades de papa para poder deshidratarse.



**Figura 27. Porcentaje de humedad de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

Se reportan porcentajes de humedad de 8.5 para almidones de papa (Alvis *et al.*, 2008). Así mismo, para almidones de papa variedad Imilla negra y Locka 9.3 y 10.2 por ciento de humedad respectivamente (Martínez *et al.*, 2019).

**Tabla 18: Composición fisicoquímica de los almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Muestra   | Humedad %                 | Cenizas %                 | Grasas %                  | Fibra %                   | Proteínas %                | Carbohidratos %           | Amilosa                    | Amilopectina               |
|-----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| APL       | 8.15 ± 0.27 <sup>h</sup>  | 0.18 ± 0.05 <sup>e</sup>  | 0.03 ± 0.01 <sup>a</sup>  | 0.06 ± 0.01 <sup>g</sup>  | 0.84 ± 0.09 <sup>a</sup>   | 90.73 ± 0.30 <sup>f</sup> | 24.14 ± 0.04 <sup>i</sup>  | 75.86 ± 0.04 <sup>e</sup>  |
| APL 5ML   | 7.96 ± 0.05 <sup>i</sup>  | 0.18 ± 0.01 <sup>ef</sup> | 0.02 ± 0.00 <sup>c</sup>  | 0.05 ± 0.00 <sup>h</sup>  | 0.81 ± 0.01 <sup>a</sup>   | 90.98 ± 0.04 <sup>e</sup> | 24.81 ± 0.01 <sup>g</sup>  | 75.19 ± 0.01 <sup>g</sup>  |
| APL 10 ML | 8.46 ± 0.07 <sup>f</sup>  | 0.13 ± 0.01 <sup>hi</sup> | 0.02 ± 0.00 <sup>b</sup>  | 0.04 ± 0.00 <sup>i</sup>  | 0.62 ± 0.01 <sup>b</sup>   | 90.73 ± 0.05 <sup>f</sup> | 25.16 ± 0.05 <sup>f</sup>  | 74.84 ± 0.05 <sup>h</sup>  |
| APL 15 ML | 7.61 ± 0.06 <sup>j</sup>  | 0.10 ± 0.01 <sup>i</sup>  | 0.01 ± 0.00 <sup>e</sup>  | 0.03 ± 0.00 <sup>jk</sup> | 0.54 ± 0.01 <sup>c</sup>   | 91.69 ± 0.04 <sup>b</sup> | 26.50 ± 0.01 <sup>e</sup>  | 73.50 ± 0.01 <sup>i</sup>  |
| API       | 7.87 ± 0.05 <sup>i</sup>  | 0.15 ± 0.00 <sup>fg</sup> | 0.02 ± 0.00 <sup>cd</sup> | 0.04 ± 0.00 <sup>ij</sup> | 0.52 ± 0.01 <sup>c</sup>   | 91.39 ± 0.05 <sup>c</sup> | 28.84 ± 0.03 <sup>d</sup>  | 71.16 ± 0.03 <sup>j</sup>  |
| API 5ML   | 8.20 ± 0.05 <sup>gh</sup> | 0.14 ± 0.00 <sup>gh</sup> | 0.02 ± 0.00 <sup>bc</sup> | 0.03 ± 0.00 <sup>k</sup>  | 0.42 ± 0.01 <sup>d</sup>   | 91.19 ± 0.04 <sup>d</sup> | 29.30 ± 0.01 <sup>c</sup>  | 70.70 ± 0.01 <sup>k</sup>  |
| API 10 ML | 9.15 ± 0.03 <sup>c</sup>  | 0.13 ± 0.00 <sup>gh</sup> | 0.02 ± 0.00 <sup>b</sup>  | 0.02 ± 0.00 <sup>l</sup>  | 0.41 ± 0.01 <sup>de</sup>  | 90.27 ± 0.02 <sup>g</sup> | 32.05 ± 0.05 <sup>b</sup>  | 67.95 ± 0.05 <sup>l</sup>  |
| API 15 ML | 7.28 ± 0.11 <sup>k</sup>  | 0.15 ± 0.00 <sup>gh</sup> | 0.01 ± 0.00 <sup>e</sup>  | 0.04 ± 0.00 <sup>i</sup>  | 0.32 ± 0.00 <sup>gh</sup>  | 92.20 ± 0.11 <sup>a</sup> | 33.13 ± 0.09 <sup>a</sup>  | 66.87 ± 0.09 <sup>m</sup>  |
| ACL       | 9.18 ± 0.13 <sup>c</sup>  | 0.35 ± 0.00 <sup>c</sup>  | 0.02 ± 0.00 <sup>de</sup> | 0.72 ± 0.00 <sup>e</sup>  | 0.36 ± 0.00 <sup>fg</sup>  | 89.37 ± 0.14 <sup>i</sup> | 20.21 ± 0.01 <sup>m</sup>  | 79.79 ± 0.01 <sup>a</sup>  |
| ACL 5ML   | 8.88 ± 0.01 <sup>de</sup> | 0.33 ± 0.00 <sup>cd</sup> | 0.00 ± 0.00 <sup>g</sup>  | 0.70 ± 0.00 <sup>f</sup>  | 0.35 ± 0.00 <sup>fgh</sup> | 89.73 ± 0.01 <sup>h</sup> | 22.21 ± 0.09 <sup>l</sup>  | 77.79 ± 0.09 <sup>b</sup>  |
| ACL 10 ML | 9.01 ± 0.01 <sup>cd</sup> | 0.42 ± 0.00 <sup>ab</sup> | 0.01 ± 0.00 <sup>e</sup>  | 0.75 ± 0.00 <sup>d</sup>  | 0.33 ± 0.00 <sup>gh</sup>  | 89.46 ± 0.01 <sup>i</sup> | 24.21 ± 0.14 <sup>hi</sup> | 75.80 ± 0.14 <sup>ef</sup> |
| ACL 15 ML | 8.34 ± 0.01 <sup>fg</sup> | 0.41 ± 0.00 <sup>b</sup>  | 0.00 ± 0.00 <sup>g</sup>  | 0.72 ± 0.00 <sup>e</sup>  | 0.31 ± 0.00 <sup>h</sup>   | 90.22 ± 0.01 <sup>g</sup> | 25.12 ± 0.09 <sup>f</sup>  | 74.88 ± 0.09 <sup>h</sup>  |
| ACI       | 10.15 ± 0.01 <sup>a</sup> | 0.44 ± 0.00 <sup>a</sup>  | 0.01 ± 0.00 <sup>e</sup>  | 0.91 ± 0.00 <sup>a</sup>  | 0.38 ± 0.00 <sup>def</sup> | 88.10 ± 0.01 <sup>k</sup> | 22.43 ± 0.02 <sup>k</sup>  | 77.57 ± 0.02 <sup>c</sup>  |
| ACI 5ML   | 9.42 ± 0.01 <sup>b</sup>  | 0.32 ± 0.00 <sup>d</sup>  | 0.01 ± 0.00 <sup>ef</sup> | 0.81 ± 0.00 <sup>c</sup>  | 0.35 ± 0.00 <sup>dth</sup> | 89.08 ± 0.01 <sup>j</sup> | 22.69 ± 0.11 <sup>j</sup>  | 77.31 ± 0.11 <sup>d</sup>  |
| ACI 10 ML | 9.51 ± 0.01 <sup>b</sup>  | 0.35 ± 0.00 <sup>c</sup>  | 0.01 ± 0.00 <sup>e</sup>  | 0.83 ± 0.00 <sup>b</sup>  | 0.36 ± 0.00 <sup>efg</sup> | 88.93 ± 0.01 <sup>j</sup> | 24.35 ± 0.15 <sup>h</sup>  | 75.65 ± 0.15 <sup>f</sup>  |
| ACI 15 ML | 8.71 ± 0.01 <sup>e</sup>  | 0.33 ± 0.00 <sup>cd</sup> | 0.01 ± 0.00 <sup>f</sup>  | 0.72 ± 0.00 <sup>e</sup>  | 0.33 ± 0.00 <sup>gh</sup>  | 89.89 ± 0.01 <sup>h</sup> | 25.25 ± 0.18 <sup>f</sup>  | 74.75 ± 0.18 <sup>h</sup>  |

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según LSD de Fisher (p<0.05).

Según Pardo *et al.* (2013), mencionan que la variedad de papa puede influenciar en el porcentaje de humedad, estos se pueden encontrar entre 5.8 a 6.9 por ciento de humedad. Porcentajes más elevados se reportan por Martínez *et al.* (2015) donde oscilaron entre 14.15 a 15.62 por ciento de humedad. Przetaczek-Rożnowska (2017) afirman que la humedad debe de ser menor al 20 por ciento; para que puedan almacenarse y comercializarse adecuadamente (Kemi *et al.*, 2013).

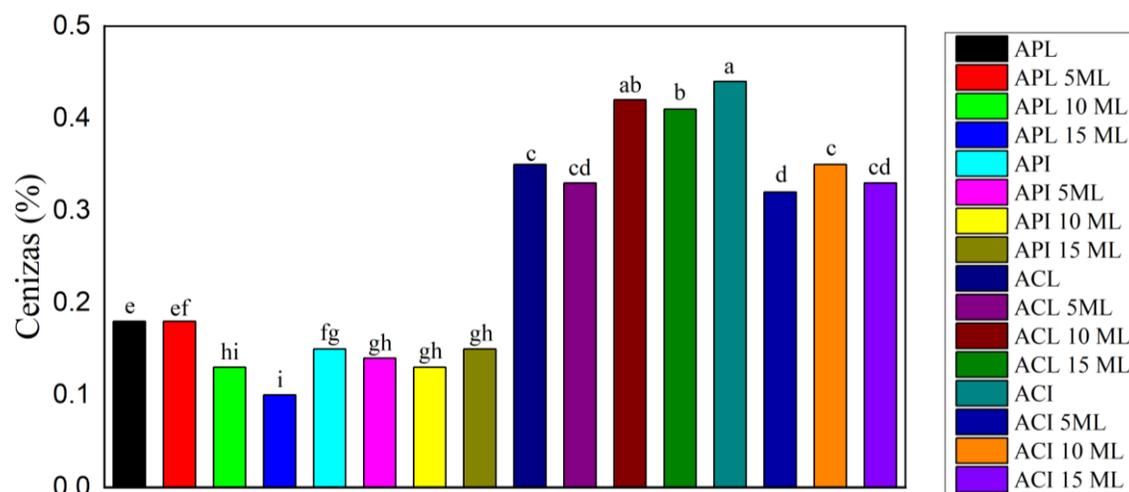
Respecto al análisis de varianza para el porcentaje de cenizas, el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 25, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en los porcentajes de cenizas de los almidones nativos y modificados de papa y chuño de las variedades correspondientes. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 26, se muestra una clasificación por categorías, donde el almidón de chuño Imilla Negra contiene la mayor cantidad de cenizas de 0.44 por ciento y el almidón de papa Locka modificado con 15 ml de anhídrido acético contiene el menor porcentaje de cenizas 0.10 por ciento.

En la Figura 28 se observa que el contenido de cenizas en los almidones nativos y modificados de papa y chuño osciló entre 0.10 a 0.44 por ciento, también se muestra que los almidones nativos y modificado de papa contienen menor porcentaje de cenizas, y los almidones nativos de papa y chuño al ser modificados con anhídrido acético muestran un cambio en su contenido de cenizas; el bajo contenido de cenizas son indicadores de que las muestras de almidón contienen una elevada pureza (Joshi *et al.*, 2013). Se reportan 0.44 por ciento de cenizas en muestras de almidón de papa (Alvis *et al.*, 2008). Así mismo, porcentajes de cenizas que oscilan entre 0.24 a 0.44 por ciento para almidones de papa de seis variedades distintas (Pardo *et al.*, 2013). Para almidón de papa variedad Imilla Negra y variedad Locka se reportan 0.29 y 0.22 por ciento de cenizas respectivamente (Martínez *et al.*, 2019). Przetaczek-Rożnowska (2017) reportaron 0.21 por ciento para almidón de papa. El contenido alto de cenizas se relaciona con la cantidad de minerales de los almidones (Waterschoot *et al.*, 2015).

De forma general el sodio, potasio, calcio y magnesio forma parte de la composición de las cenizas de los almidones (Yousif *et al.*, 2012). El porcentaje de cenizas para almidón de

chuño y tunta osciló entre 0.45 y 0.29 por ciento (Chilon & Mamani, 2019). Lipa & Maquera (2013) reporta contenido de ceniza de 0.40 por ciento en muestras de almidón de tunta y 0.50 por ciento para almidones de chuño. Para almidón de papa se muestran 0.25 por ciento de cenizas (Gunaratne y Hoover, 2002).

Respecto al análisis de varianza para el porcentaje de grasas, el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 27, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en los porcentajes de grasas de los almidones nativos y modificados de papa y chuño de las variedades correspondientes. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 28, se muestra una clasificación por categorías, donde el almidón de papa Locka tiene la mayor cantidad de grasas de 0.03 por ciento y los almidones de chuño Locka modificados con 5 ml y 15 ml de anhídrido acético tienen en su composición 0.00 por ciento de grasa.

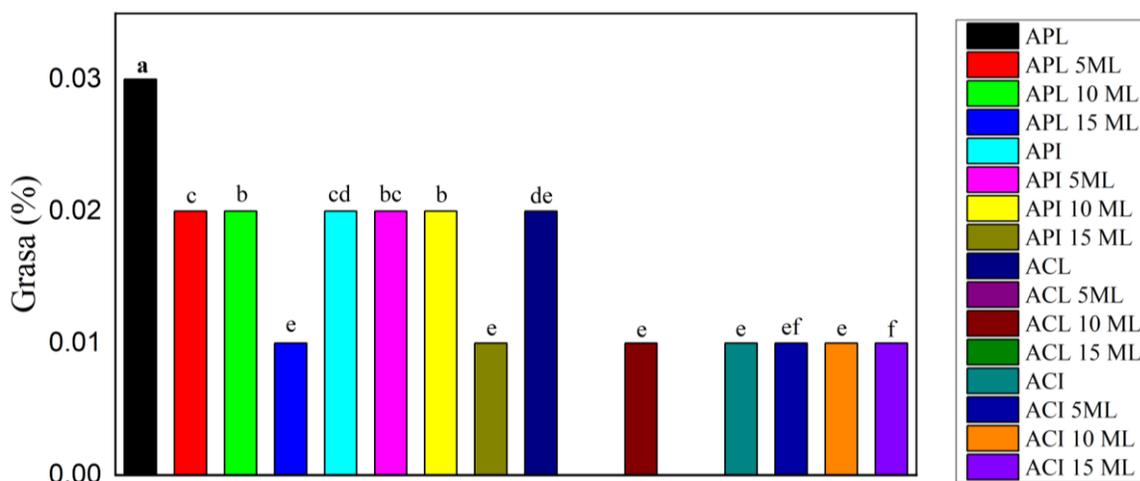


**Figura 28. Porcentaje de cenizas de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

En la Figura 29 se observa que el contenido de grasa en los almidones nativos y modificados de papa y chuño osciló entre 0.00 a 0.03 por ciento, al modificar el almidón nativo de papa Locka el porcentaje de cenizas disminuyó, en cambio el contenido de cenizas aumento en almidones modificados de papa Imilla Negra, los almidones nativos y modificados de chuño Imilla no mostraron cambios significativos; los lípidos pueden afectar la calidad, propiedades

funcionales y físicas de los almidones, porque originan la disminución de la capacidad de retención de agua, capacidad de hinchamiento y solubilidad, los cuales generan rancidez y formación de sabores desagradables durante el almacenamiento (Hidalgo & Micho, 2016). Así mismo, los lípidos pueden afectar el comportamiento reológico de los gránulos de almidón disminuyendo la viscosidad (Melian, 2010).

Se reportan contenidos de grasa que oscilan entre 0.04 a 0.14 por ciento (Thais-Paes *et al.*, 2015). Para almidón de papa variedad Locka y Imilla Negra 0.07 y 0.00 respectivamente (Martínez *et al.*, 2019). Alvis *et al.* (2008) reportan 0.35 por ciento de grasa para almidón de papa. Los lípidos que forman parte de la composición de los almidones pueden afectar la solubilidad, capacidad de retención de agua, claridad y poder de hinchamiento, esto origina cambios en las propiedades organolépticas de dicho polisacárido (Hidalgo & Micho, 2016). Así mismo los lípidos pueden afectar el color, también las propiedades reológicas a causa de la formación de amilosa-lípidos (Crowe, Seligman, & Copeland, 2000).

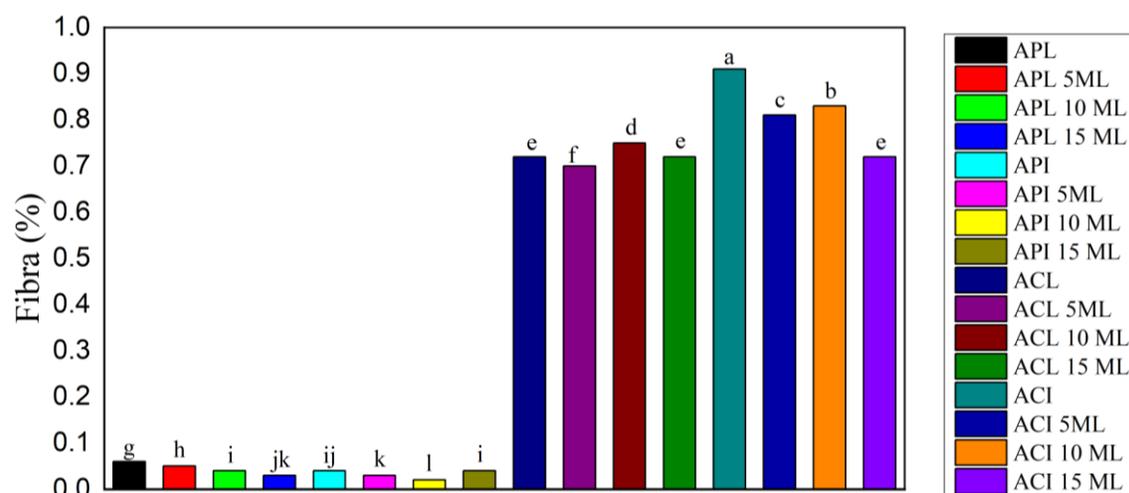


**Figura 29. Porcentaje de grasa de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

Por otra parte, la disminución de viscosidad y fuerza en geles de almidón se ve influenciado por el contenido de lípidos en su composición (Melian, 2010). Contenidos de 0.25 y 0.30 por ciento para almidones de papa variedad Abeve y Única respectivamente (Vargas, 2015). Luallen (2018) menciona que la cantidad de lípidos menor a 1 por ciento es considerado un rango óptimo. Se reportan 0.01 y 0.03 por ciento de grasa para almidón de chuño y tunta

respectivamente, los carbohidratos que contienen los almidones se relacionan con el contenido de grasa del mismo (Chilon & Mamani, 2019). Para almidón de papa el contenido de grasa osciló entre 0.02 a 0.05 por ciento según lo reportado por (Hoover & Vasanthan, 1994; Swinkels, 1985).

Respecto al análisis de varianza para el porcentaje de fibra, el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 29, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en los porcentajes de fibra de los almidones nativos y modificados de papa y chuño de las variedades correspondientes. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 30, se muestra una clasificación por categorías, donde el almidón de chuño Imilla Negra tiene la mayor cantidad de fibra de 0.91 por ciento y el almidón de papa Locka modificado con 10 ml anhídrido acético tiene el menor porcentaje de fibra 0.02 por ciento.

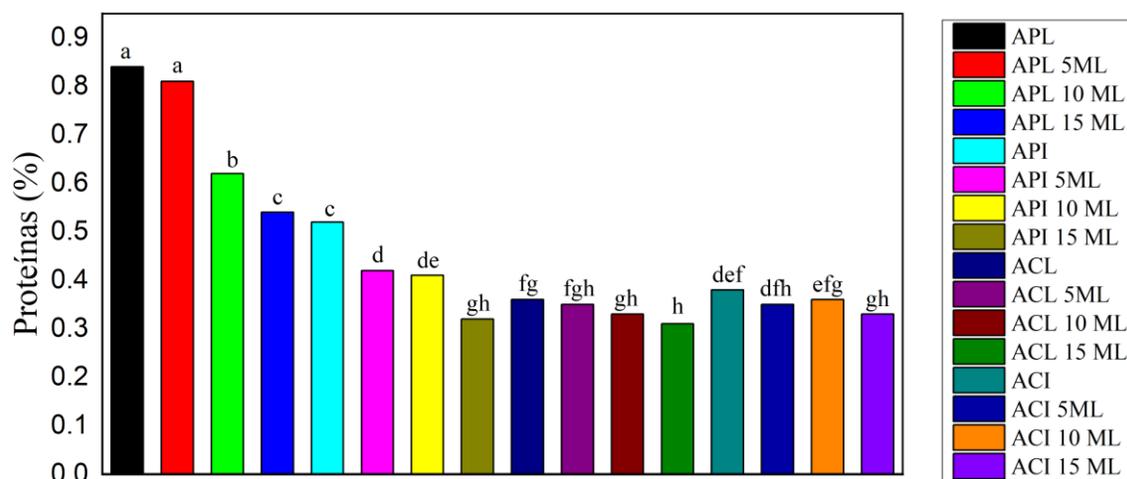


**Figura 30. Porcentaje de fibra de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

En la Figura 30 se observa que el contenido de fibra en los almidones nativos y modificados de papa y chuño osciló entre 0.02 a 0.91 por ciento; se reportan contenido de fibra en almidón de tunta y chuño 0.36 y 0.89 por ciento (Chilon & Mamani, 2019); para almidón de camote la fibra osciló entre 0.28 y 1.28 por ciento, además mencionan que el contenido de fibra puede ser diferente a causa del tamiz utilizado en el proceso de extracción de los almidones y las

variedades diferentes (Hernández-Medina, Torruco-Uco, Chel-Guerrero, & Betancur-Ancona, 2008; Moorthy, 2002).

Respecto al análisis de varianza para el porcentaje de proteínas, el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 31, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en los porcentajes de proteínas de los almidones nativos y modificados de papa y chuño de las variedades correspondientes. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 32, se muestra una clasificación por categorías, donde el almidón de papa Locka y almidón de papa Locka modificado con 5 ml de anhídrido acético mostraron la mayor cantidad de proteínas de 0.84 y 0.81 por ciento respectivamente y el almidón de chuño Locka modificado con 15 ml de anhídrido acético mostró el menor porcentaje de proteínas 0.31 por ciento.



**Figura 31. Porcentaje de proteína de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

En la Figura 31 se observa que el contenido de proteínas en los almidones nativos y modificados de papa y chuño osciló entre 0.31 a 0.84 por ciento; el bajo contenido de proteínas son indicadores de que las muestras de almidón contienen una elevada pureza (Joshi *et al.*, 2013). Las proteínas son componentes del almidón que disminuyen su pureza, debido a que pueden afectar el aroma y sabor, también pueden afectar la carga superficial de los

gránulos de almidón, esto influirá en la gelatinización, velocidad de hidratación e hinchamiento (Moorthy, 2002).

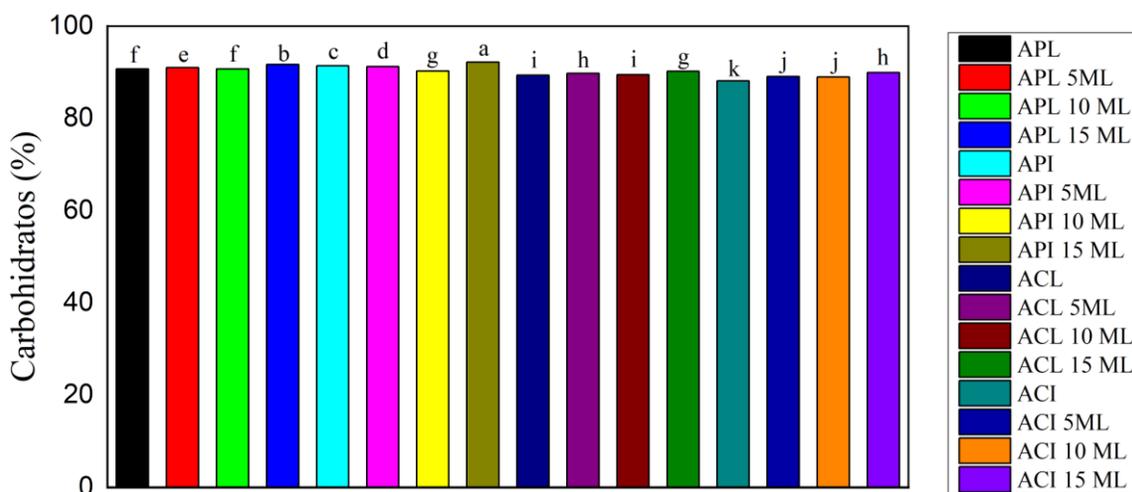
Se reportan contenidos de proteínas de 0.62 por ciento en almidón de papa (Alvis *et al.*, 2008). Para almidón de papa Imilla Negra y Locka el contenido de almidón osciló entre 0.58 y 0.74 por ciento respectivamente (Martínez *et al.*, 2019). Se observan contenidos menores que oscilaron entre 0.29 a 0.36 por ciento de proteínas (Pardo *et al.*, 2013). Thais-Paes *et al.* (2015) reportan 0.91 a 0.31 por ciento de proteínas para almidones. En otro estudio el contenido de proteínas en almidones estaba entre 0.30 a 0.34 por ciento (Alvani, Qi, & Tester, 2011).

Las proteínas que contienen los almidones disminuyen su pureza porque afectan el sabor y aroma las cuales son características organolépticas muy importantes, así mismo las propiedades de hinchamiento y gelatinización se ven afectadas (Moorthy, 2002). Las proteínas con característica soluble, azúcares, aminoácidos y sales se pierden durante el proceso de extracción de almidón porque en dicho proceso se utiliza agua (Grommers & Van Der Krogt, 2009). El porcentaje de proteína de un almidón debería de tener valores inferiores a 0.6 por ciento (Tester *et al.*, 2004). Se reportan porcentajes de proteína entre 0.25 a 0.40 por ciento para almidones (Ai & Jane, 2018). Así mismo se reporta 0.08 por ciento de proteína para muestras de almidón (Przetaczek-Rożnowska, 2017). Para almidón de papa variedad Abede y Única oscilaron entre 0.28 y 0.47 por ciento respectivamente (Vargas, 2015).

Singh & Kaur (2009) para almidón de papa variedad Nueva Zelanda reporta 0.6 a 2.1 por ciento de proteína. Xu *et al.* (2013) para papas de origen norteamericano se reporta 0.24 por ciento. Mirmoghtadaie, Kadivar, & Shahedi (2009) afirman que las propiedades térmicas del almidón no tienen diferencia significativa si su porcentaje de proteína es como máximo el 5 por ciento. Así mismo, Mishra & Rai (2006) afirma que el sabor y formación de espuma tienen relación con la cantidad de proteína que los almidones puedan contener. Por otra parte, se reportan valores como 0.35 y 0.27 por ciento para almidones de chuño y tunta respectivamente, se afirma que los valores de proteína menores son recomendables para que la humedad no pueda deteriorar al almidón (Chilon & Mamani, 2019).

Lipa & Maquera (2013) para almidones de chuño y tunta reportan 0.35 y 0.16 por ciento respectivamente. Meaño, Ciartella, & Dorta (2014) reportan 0.29 por ciento de proteínas para almidones de papa.

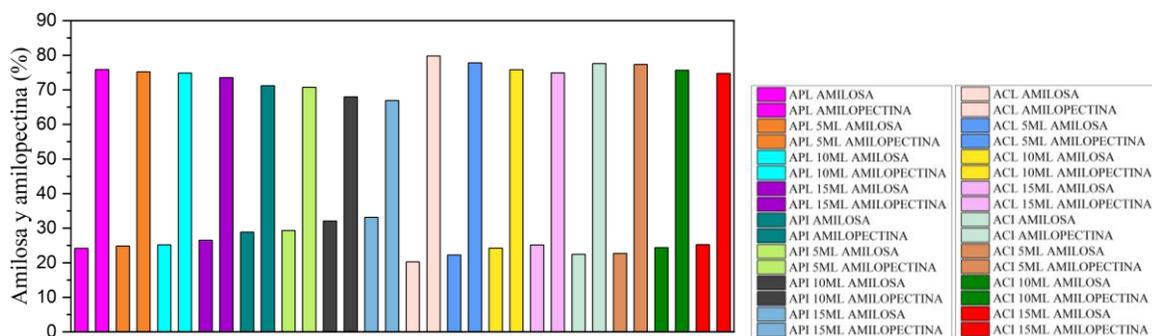
Respecto al análisis de varianza para el porcentaje de carbohidratos, el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 33, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en los porcentajes de carbohidratos de los almidones nativos y modificados de papa y chuño de las variedades correspondientes. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 34, se muestra una clasificación por categorías, donde el almidón de papa Imilla Negra modificado con 15 ml de anhídrido acético mostró la mayor cantidad de carbohidratos de 92.20 por ciento y el almidón de chuño Imilla Negra mostró el menor porcentaje de carbohidratos 88.10 por ciento.



**Figura 32. Porcentaje de carbohidratos de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

En la Figura 32 se observa que el contenido de carbohidratos en los almidones nativos y modificados de papa y chuño osciló entre 88.10 a 92.20 por ciento; se reportan contenidos de carbohidratos de 99.5 por ciento (Xu *et al.*, 2013). Así mismo, para almidones de papa variedad Abeve y Única el contenido de carbohidratos fue de 99.20 y 98.80 por ciento respectivamente (Vargas, 2015). Por otro lado, para almidón de chuño y tunta osciló entre

87.67 y 89.87 por ciento respectivamente (Chilon & Mamani, 2019). Para almidón de tunta y chuño osciló entre 89.48 y 88.25 por ciento respectivamente (Lipa & Maquera, 2013).



**Figura 33. Porcentaje de amilosa y amilopectina de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

Respecto al análisis de varianza para el porcentaje de amilosa, el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 35, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en los porcentajes de carbohidratos de los almidones nativos y modificados de papa y chuño de las variedades correspondientes. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 36, se muestra una clasificación por categorías, donde el almidón de papa Imilla Negra modificado con 15 ml de anhídrido acético mostró la mayor cantidad de amilosa de 33.13 por ciento y el almidón chuño Locka mostró el menor porcentaje de amilosa 20.21 por ciento.

Respecto al análisis de varianza para el porcentaje de amilopectina, el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 37, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en los porcentajes de amilopectina de los almidones nativos y modificados de papa y chuño de las variedades correspondientes. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 38, se muestra una clasificación por categorías, donde el almidón de chuño Locka tiene la mayor cantidad de amilopectina de 79.79 por ciento y el almidón de papa Imilla Negra modificado con 15 ml de anhídrido acético mostró el menor contenido de amilopectina 66.87 por ciento.

En la Figura 33 se observa que el contenido de amilosa y amilopectina de los almidones nativos y modificados de papa y chuño los cuales oscilaron entre (20.21 a 33.31 por ciento)

y (88.10 a 92.20 por ciento) respectivamente, en este sentido se observa que la modificación con anhídrido acético en la mayoría de los tratamientos mostró un incremento respecto a su almidón homólogo o nativo. Estudios mencionan que en la mayoría de los almidones modificados se mostró un contenido de amilosa ligeramente mayor en comparación con su homólogo. Se reportan incrementos de amilosa en almidones modificados de papa con anhídrido acético que oscilaron entre 19.5 a 22.8 por ciento donde se utilizaron niveles de anhídrido acético entre 2 a 12 g por cada 100 g de almidón (Singh, Chawla, *et al.*, 2004b). El incremento de amilosa en almidones a causa de la acetilación también se observó anteriormente (Betancur *et al.*, 1997). La presencia de grupos acetilo obstruye o interfiere con las fracciones de amilosa y amilopectina de los gránulos de almidón, esto puede afectar la absorción de yodo durante el análisis de amilosa (Betancur *et al.*, 1997; Whistler & Daniel, 1995).

En el estudio realizado por Siroha, Sandhu, Kaur, & Kaur (2019), realizaron la modificación de almidones de mijo perla utilizando niveles de anhídrido acético de 1.25, 2.5, 3.75 y 5 por ciento, los resultados muestran un 14.1 por ciento de amilosa para el almidón nativo de mijo, respecto a los almidones acetilados el porcentaje de amilosa osciló entre 10.5, 12.3, 13.5 y 15.4 por ciento para los niveles de anhídrido acético de 1.25, 2.5, 3.75 y 5 por ciento respectivamente, los niveles bajos de acetilación originaron la disminución de amilosa, sin embargo, el nivel más alto de acetilación (5 por ciento) incrementó el porcentaje de amilosa.

Lawal, Odeniyi, & Itiola (2015) realizaron la acetilación de almidones de papa, maíz y yuca observando una disminución del porcentaje de amilosa respecto a su almidón nativo, esto se debe a la lixiviación de la amilosa durante la acetilación de los gránulos de almidón. Por otra parte, Singh, Sodhi, & Singh (2012) informaron el incremento de amilosa en almidón de sorgo modificados con anhídrido acético.

La disminución o incremento de amilosa en los gránulos de almidón acetilados se puede atribuir a la interferencia de los grupos acetilo con el correcto funcionamiento de fracciones de amilosa y amilopectina, esto puede afectar la absorción de yodo en la cuantificación o determinación de amilosa (Betancur *et al.*, 1997; Whistler & McGilvray, 1954).

Los almidones de papa están conformados por amilosa y amilopectina, de forma general la amilosa almacena energía y la amilopectina se puede encontrar en la capa exterior del gránulo de almidón (Aguilar, 2016). Se reportan contenido de amilosa que oscila entre 16.10 y 23.43 por ciento para almidón (Thais-Paes *et al.*, 2015). Para almidones de papa osciló entre 18.5 a 23.5 por ciento de amilosa (Tong, Ahmed, Pang, Zhou, & Bao, 2018).

Así mismo, se reportan rangos entre 15.4 a 25.5 por ciento de amilosa (Absar *et al.*, 2009). Valores superiores oscilaron entre 23 a 26.7 por ciento para almidones (Xu *et al.*, 2013). De igual forma, se reportan rangos entre 25.13 a 29.05 por ciento de amilosa para almidones (Alvani *et al.*, 2011). Para almidones de papa se reportan 24.00 por ciento (Alvis *et al.*, 2008). Como se puede observar el contenido de amilosa varía significativamente a causa de factores como el tipo de suelo, fuente botánica, clima entre otros factores que guarden relación con su crecimiento (Martínez *et al.*, 2015).

De igual forma, Jan, Saxena, & Singh (2016) mencionan que la variación del contenido de amilosa se origina a causa del tiempo de cosecha, condiciones climáticas y tipo de suelo. Se reportan contenidos de amilosa entre 23.00 a 26.39 por ciento para almidón de papa que fueron cultivados en Virginia (Xu *et al.*, 2013). El contenido de amilosa se relaciona como el tamaño de los gránulos de almidón de forma proporcional, es decir mientras mayor sea el tamaño del gránulo mayor será el porcentaje de amilosa de dicho polisacárido (Kaur, Singh, & Sodhi, 2002).

Así mismo, Kaur *et al.* (2007) reportó que el contenido de amilosa para almidones de papa que tenían gránulos de almidón pequeños fue significativamente menor a comparación de tamaños medianos y grandes. Para almidón de chuño y tunta el contenido de amilosa osciló entre 20.21 y 14.89 por ciento (Chilon & Mamani, 2019). La amilosa proporciona características del almidón, porque existe amilosa de forma soluble que se localiza en la sección amorfa de dicho polímero (Moorthy, 2002).

#### **4.5. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS DE ALMIDONES NATIVOS Y MODIFICADOS DE PAPA Y CHUÑO (*Solanum tuberosum*).**

Es importante conocer la relación entre las variedades de papa, procesos de congelación – descongelación y la modificación con anhídrido acético. Hacemos esta referencia en base al objetivo específico que tuvo la presente investigación, el cual fue caracterizar las propiedades térmicas de los almidones nativos y modificados de papa y chuño, en este sentido, mencionamos lo siguiente:

Las papas nativas utilizadas en la presente investigación fueron, papa dulce variedad Imilla Negra y papa amarga variedad Locka, respecto a las papas nativas dulces, se caracterizan por tener un sabor aceptable por el consumidor, sabor dulce y un contenido de glicoalcaloides bajo en su composición, por otra parte, las papas nativas amargas se caracterizan por tener un sabor amargo, tolerancia a temperaturas bajas (entre -5 a -3 °C) y un contenido de glicoalcaloides elevado (mayor a 20 mg/100g de peso fresco), en esta fresco esta variedad de papa no es apta para el consumidor, por lo tanto, tienen que pasar por un proceso de congelación y descongelación para eliminar la mayor cantidad de glicoalcaloides presentes en su composición, este proceso tradicional da como resultado el chuño, tunta y moraya según sea el caso (Cahuana & Arcos, 2002).

Durante la congelación, el movimiento de agua se debe a la cristalización del agua local, dentro o fuera de las células, lo cual genera concentraciones locales elevadas. Como resultado, el agua no congelada adyacente a las células congeladas es atraída fuertemente hacia estas debido a la diferencia de presión osmótica (Li *et al.*, 2018).

En los alimentos celulares vegetales, el agua se desplaza desde la sustancia fundamental citoplasmática a través de las membranas y paredes celulares hacia el espacio intercelular, o desde el interior de la vacuola, pasando por el tonoplasto hacia el citoplasma y luego hacia el espacio intercelular a través de las membranas y paredes celulares, la congelación puede provocar la migración de agua en alimentos de origen tanto vegetal como animal, sin embargo, existen pocas investigaciones sobre la resistencia que oponen la membrana celular,

la pared celular y otras endomembranas a la migración de agua durante la congelación de alimentos, la membrana celular obstaculiza la transferencia de calor durante la congelación, lo que conduce al sobreenfriamiento de la región intracelular, nucleándose a temperaturas considerablemente más bajas que el entorno extracelular (Bertram *et al.*, 2007; Kirtil *et al.*, 2014).

Respecto a la modificación química del almidón con anhídrido acético, consiste en la reacción del almidón con anhídrido acético y acetato de vinilo, y puede llevarse a cabo en presencia de un catalizador alcalino (hidróxido de sodio), agua o un solvente orgánico, La acetilación también afecta las propiedades funcionales del almidón nativo, con el proceso de acetilación, la capacidad de absorción de agua del almidón se incrementa, dado que los gránulos de almidón nativo están fuertemente interconectados, presentan una menor capacidad de unión al agua, mediante la acetilación, se introducen grupos acetilo, lo que puede reducir la densidad del polímero de almidón, generar un impedimento estérico, facilitar el acceso del agua al área amorfa y mejorar la capacidad de absorción de agua (Suri & Singh, 2023). El contenido de amilosa se incrementa de manera gradual con el aumento en el grado de sustitución del grupo hidroxilo de los azúcares por el grupo acetilo (Ashogbon *et al.*, 2021).

La gelatinización del almidón es muy importante porque nos da a conocer la transición endotérmica, dicha transición describe el cambio de la estructura, dejando de ser semicristalina y convirtiéndose en una estructura amorfa (Zhang *et al.*, 2014). El cambio de estructura consecuencia de la gelatinización del almidón origina muchos cambios como solubilidad, absorción de agua, pérdida de birrefringencia, viscosidad y fusión de la forma cristalina de forma irreversible (Quintero *et al.*, 2012). La calorimetría diferencial de barrido es utilizada para obtener los parámetros de gelatinización con un alto grado de precisión (Chen, Zhou, Yang, & Cui, 2015; Yuan, Zhang, Dai, & Yu, 2007).

Así mismo, el contenido de amilosa y la distribución de la longitud de cadena de la amilopectina originan cambios en las propiedades térmicas de dicho gránulo de almidón (Jane *et al.*, 1999).

En la Tabla 19 se muestran los parámetros de gelatinización de las 16 muestras de almidones nativos y modificados de papa y chuño, se observan diferencias significativas respecto a las transiciones de temperatura; la diferencia se debe a la estructura granular propia de un almidón, contenido de amilosa y amilopectina, siendo los componentes mayoritarios de los gránulos de almidón (Kaur *et al.*, 2002).

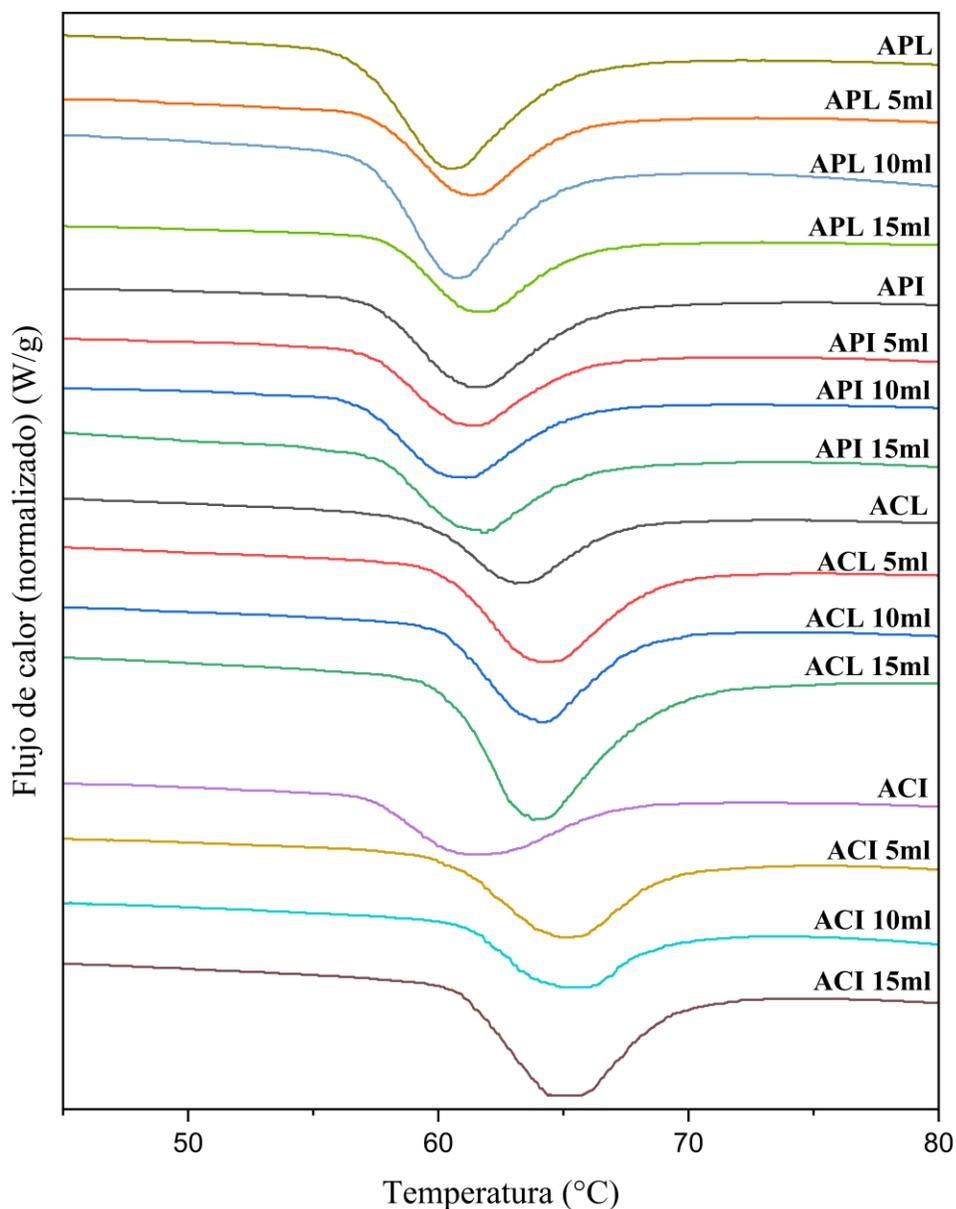
**Tabla 19: Parámetros de gelatinización de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Muestra   | To (°C)                    | Tp (°C)                    | Tf (°C)                    | ΔH (J/g)                   |
|-----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| APL       | 56.66 ± 0.10 <sup>i</sup>  | 60.40 ± 0.20 <sup>i</sup>  | 74.10 ± 0.20 <sup>bc</sup> | 4.76 ± 0.32 <sup>b</sup>   |
| APL 5ML   | 57.52 ± 0.13 <sup>g</sup>  | 61.35 ± 0.11 <sup>fg</sup> | 69.32 ± 0.24 <sup>i</sup>  | 2.65 ± 0.48 <sup>gh</sup>  |
| APL 10 ML | 57.48 ± 0.11 <sup>g</sup>  | 60.62 ± 0.09 <sup>hi</sup> | 72.35 ± 0.27 <sup>f</sup>  | 4.05 ± 0.17 <sup>cd</sup>  |
| APL 15 ML | 58.05 ± 0.13 <sup>f</sup>  | 61.57 ± 0.15 <sup>ef</sup> | 72.85 ± 0.33 <sup>e</sup>  | 2.63 ± 0.36 <sup>gh</sup>  |
| API       | 57.50 ± 0.11 <sup>g</sup>  | 61.48 ± 0.16 <sup>fg</sup> | 73.56 ± 0.11 <sup>d</sup>  | 3.39 ± 0.55 <sup>def</sup> |
| API 5ML   | 57.43 ± 0.13 <sup>g</sup>  | 61.29 ± 0.21 <sup>g</sup>  | 71.80 ± 0.28 <sup>g</sup>  | 3.17 ± 0.37 <sup>fg</sup>  |
| API 10 ML | 56.97 ± 0.11 <sup>h</sup>  | 60.79 ± 0.16 <sup>h</sup>  | 69.08 ± 0.12 <sup>i</sup>  | 3.02 ± 0.23 <sup>fg</sup>  |
| API 15 ML | 57.54 ± 0.38 <sup>g</sup>  | 61.81 ± 0.10 <sup>e</sup>  | 73.55 ± 0.23 <sup>d</sup>  | 3.07 ± 0.10 <sup>fg</sup>  |
| ACL       | 59.38 ± 0.11 <sup>e</sup>  | 63.09 ± 0.10 <sup>d</sup>  | 70.54 ± 0.23 <sup>h</sup>  | 2.84 ± 0.28 <sup>fg</sup>  |
| ACL 5ML   | 60.17 ± 0.12 <sup>d</sup>  | 64.15 ± 0.16 <sup>b</sup>  | 74.13 ± 0.08 <sup>bc</sup> | 3.90 ± 0.24 <sup>de</sup>  |
| ACL 10 ML | 60.31 ± 0.07 <sup>cd</sup> | 64.14 ± 0.13 <sup>b</sup>  | 74.54 ± 0.25 <sup>b</sup>  | 3.25 ± 0.24 <sup>efg</sup> |
| ACL 15 ML | 60.49 ± 0.10 <sup>c</sup>  | 63.79 ± 0.13 <sup>c</sup>  | 75.86 ± 0.11 <sup>a</sup>  | 5.99 ± 0.35 <sup>a</sup>   |
| ACI       | 57.38 ± 0.15 <sup>g</sup>  | 61.25 ± 0.18 <sup>g</sup>  | 73.27 ± 0.18 <sup>de</sup> | 2.76 ± 0.25 <sup>fg</sup>  |
| ACI 5ML   | 60.51 ± 0.10 <sup>c</sup>  | 64.96 ± 0.14 <sup>a</sup>  | 74.40 ± 0.17 <sup>bc</sup> | 3.25 ± 0.34 <sup>efg</sup> |
| ACI 10 ML | 61.67 ± 0.16 <sup>a</sup>  | 64.93 ± 0.16 <sup>a</sup>  | 74.06 ± 0.28 <sup>c</sup>  | 2.00 ± 0.24 <sup>h</sup>   |
| ACI 15 ML | 60.83 ± 0.14 <sup>b</sup>  | 64.79 ± 0.13 <sup>a</sup>  | 75.60 ± 0.31 <sup>a</sup>  | 4.57 ± 0.43 <sup>bc</sup>  |

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según LSD de Fisher ( $p < 0.05$ ).

En la Figura 34 se muestra los termogramas DSC de las muestras de almidón nativo y modificado de papa y chuño, en esta figura se da a conocer la transición térmica de gelatinización, comenzamos con un pico endotérmico que se sitúa sobre la línea base de dicho termograma, este suave pico se le atribuye el término de temperatura inicial que osciló entre 56.66 a 61.67 °C, luego observamos la temperatura pico que se caracteriza por registrar los valores más elevados de absorción de calor para los almidones nativos y modificados osciló entre 60.40 a 64.96 °C, y la temperatura final de gelatinización se presenta cuando el proceso

termina y para los almidones nativos y modificados osciló entre 69.08 a 75.86 °C, respecto entalpía de gelatinización que representa la energía necesaria para que el proceso se pueda completar se puede calcular como el área que se encuentra bajo la curva de la temperatura pico de gelatinización y para las muestras de almidón nativo y modificado osciló entre 2.63 a 5.99 J/g.



**Figura 34. Termogramas de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

En las muestras de almidón nativo y modificado de papa y chuño se podemos observar la presencia de transiciones endotérmicas; a estas temperaturas las moléculas de la amilosa que son polímeros de bajo peso molecular comienzan a separarse de los gránulos de almidón, mientras la temperatura aumenta los gránulos de almidón sufren un colapso que finalmente origina que la amilosa (parte amorfa) se solubiliza en su totalidad y la parte cristalina de los gránulos de almidón se conservan o mantienen en la solución acuosa (Coral, 2007); en este sentido en la presente investigación se utilizaron almidones de chuño que se sometieron a procesos de congelación y descongelación.

En la investigación realizada por Sulbarán *et al.* (2018), modificaron almidón de millo utilizando niveles de anhídrido acético de 5, 10 y 15 ml obteniendo temperaturas de gelatinización para almidón de millo sin modificar de 71.41 °C el cual disminuyó al ser modificado con los niveles ya mencionados, donde se obtuvo 64.42, 64.12 y 61.83 °C para los niveles de modificación de 5, 10 y 15m de anhídrido acético, así mismo mencionan que la disminución de la temperatura de gelatinización al incrementar la cantidad de anhídrido acético se debe al daño de las estructuras del almidón, esto origina la interrupción de las dobles hélices en las regiones amorfas de los gránulos de almidón debido a los grupos acetilo que constituyen parte de la estructura del gránulo de almidón a causa de la acetilación, esto a su vez genera la disminución de las tensiones de los grupos hidroxilo que se encuentran en los almidones sin modificar.

Por otra parte, en la investigación realizada por Rivas-González, Zamudio-Flores, & Bello-Pérez (2009) realizaron la modificación de almidón de plátano utilizando 50 g de dicho almidón y mezclando con 400 ml de anhídrido acético con tiempos de reacción de 30min y 5h, el almidón de plátano acetilado mostró una disminución en la temperatura inicial, pico y entalpía de gelatinización, el valor de la entalpía del almidón nativo de plátano fue de 12.78 J/g, este valor disminuyó a causa de la acetilación con valores entre 7.76 a 10.49 J/g; en este sentido la acetilación de un almidón nativo origina la desorganización parcial de dicho almidón.

La gelatinización guarda estrecha relación con la estructura de la amilopectina, orden de los cristales, grado de ramificación, relación de en zonas amorfas, cristalinas y la longitud de las cadenas (Tester & Morrison, 1990). En tal sentido la entalpía muestra la pérdida del orden de dobles hélices y la cristalinidad en menor medida (Cooke & Gidley, 1992). Así mismo, las propiedades térmicas pueden cambiar a causa de grupos sustituyentes hidrofílicos presentes en el gránulo de almidón y al aumento de enlaces hidrógeno en los almidones, es por ello, que la temperatura de gelatinización puede disminuir (Eliasson *et al.*, 1988; Hoover & Sosulski, 1985; Liu *et al.*, 1997; Singh, Chawla, *et al.*, 2004a).

Wootton & Bamunuarachchi (1997) en su investigación realizaron la acetilación de cadenas de polímeros originando que su estructura se desestabilice, consecuencia de esto la temperatura de gelatinización disminuyó. Se reportan valores de temperatura inicial para almidón de papa amarga variedad Locka y almidón de papa dulce variedad Imilla Negra de 56.8 y 58.1°C respectivamente (Martínez *et al.*, 2019). Para almidón la temperatura inicial osciló entre 64.2 a 66.4 °C (Tong *et al.*, 2018).

Así mismo, temperaturas iniciales menores que oscilaron entre 59.8 a 62.8 °C (Chung *et al.*, 2014). Se reportan valores similares para almidones que oscilaron entre 58.71 a 62.45 °C (Alvani *et al.*, 2011). Para almidón de papa y tunta la temperatura inicial se encontró en los rangos de 54,93 a 56,45°C (To) (Cuba, 2021). Para almidón de papa se reportan valores de 56°C (Lu, Donner, Yada, & Liu, 2016); 58,7°C para almidón de papa variedad china (Sun *et al.*, 2017) y 62.5 a 65.5°C para almidón de papa variedad maori (Zhu & Hao, 2019). Para almidón de chuño y tunta se reportan valores de 59.25 y 60.70 respectivamente (Chilon & Mamani, 2019).

Se observa que la temperatura inicial de las muestras de almidón de los distintos autores es diferente, esta diferencia se puede deber a que los almidones contienen características como su tamaño, distribución, forma, contenido de amilosa y amilopectina muy diferentes (Xu *et al.*, 2013). De igual forma, factores como la preparación de la muestra de almidón, velocidad de calentamiento, instrumentos utilizados y la humedad de la propia muestra pueden afectar de forma significativa (Moorthy, 2002).

Respecto a la temperatura pico, se reportan valores para almidón de papa Locka y Imilla Negra de 60.2 y 62.4°C respectivamente (Martínez *et al.*, 2019). Así mismo, valores que oscilan entre 68.1 a 70.4 °C (Tong *et al.*, 2018). Para almidones de papa se reporta 64.7 °C (Martins *et al.*, 2018); almidón de papa oscilo entre 64.2 a 68.4 °C (Chung *et al.*, 2014). Así mismo, para almidón oscilo entre 62.52 a 66.05 °C (Alvani *et al.*, 2011). Valores de temperatura pico mayores para almidón de papa oscilo entre 66.0 a 68.9 °C (Zhu & Hao, 2019). Valores similares oscilan entre 67.32 a 68.74 °C (Thais-Paes *et al.*, 2015). Para almidón de papa y tunta la temperatura pico oscilo entre 58.13 a 60.32°C (Tp) (Cuba, 2021). De igual forma se reportan valores de temperatura pico para almidón de chuño y tunta de 63.69 y 65.21 (Chilon & Mamani, 2019).

Para almidón de papa 60.4°C (Lu *et al.*, 2016); almidón de papa variedad china 64.2°C (Sun *et al.*, 2017) y almidón de papa variedad maori oscilo entre 66 a 68.7°C (Zhu & Hao, 2019). Como se observa la temperatura pico reportado por los diferentes autores varia significativamente, la diferencia se puede originar a causa del contenido de amilosa, amilopectina y la estructura de las muestras de almidón (Kaur *et al.*, 2002). Así mismo, la distancia de la cadena de la amilopectina y la amilosa afectan las propiedades térmicas (Jane *et al.*, 1999).

Los gránulos de almidón de las distintas variedades de papa, tunta o chuño tienen parámetros de temperatura diferentes, consecuencia de los procesos de congelación, descongelación y secado, en este sentido la temperatura final para almidón de papa amarga variedad Locka y Imilla Negra fue de 66.3 y 69.5 °C respectivamente (Martínez *et al.*, 2019). Para almidón de papa oscilo entre 74.1 a 75.8 °C (Tong *et al.*, 2018). Así mismo, para almidón de papa oscilo entre 73.8 a 79.7°C (Chung *et al.*, 2014). Datos similares oscilaron entre 74.5 a 75.6 °C (Xu *et al.*, 2013). Valores inferiores oscilan entre 68.67 a 72.27 °C para almidones de papa (Alvani *et al.*, 2011). Así mismo se reportan valores de 71.3 a 73.1 °C (Zhu & Hao, 2019). Para almidón de papa oscilo entre 70.3 °C (Singh, McCarthy, Singh, Moughan, & Kaur, 2007). Para gránulos de almidón de papa y tunta la temperatura final oscilo entre 64.40 a 66.96°C (Tf) (Cuba, 2021).

Valores mayores de temperatura final fueron reportados por Lu *et al.* (2016) para almidones de papa con un 67.4°C; almidón de papa variedad china fue de 72.8°C Sun *et al.* (2017) y para almidón de papa de cinco variedades oscilo entre 71.3 a 73.1°C (Zhu & Hao, 2019). Para almidón de chuño y tunta se reporta valores de 69.89 y 72.28°C respectivamente (Chilon & Mamani, 2019). Como se observa la temperatura final reportado por los diferentes autores varia significativamente, la diferencia se puede originar a causa del contenido de amilosa, amilopectina y la estructura de las muestras de almidón (Kaur *et al.*, 2002). Así mismo, la distancia de la cadena de la amilopectina y la amilosa afectan las propiedades térmicas (Jane *et al.*, 1999).

Respecto a la entalpía de gelatinización se reportan valores de 15.6 y 15.8 J/g para almidón de papa Locka y Imilla Negra respectivamente (Martínez *et al.*, 2019). Para almidones de papa osciló entre 15.4 J/g (Zhang *et al.*, 2013). De igual forma para almidón de papa variedad maori osciló entre 12.3 a 19.0 J/g, la entalpía de gelatinización es el parámetro más importante que podemos obtener al realizar la determinación de las propiedades térmicas de los gránulos de almidón, en las diferentes investigaciones este valor resulta ser muy diferente a causa de la variedad de papa, entre otras características (Zhu & Hao, 2019).

Valores similares fueron reportados por Tong *et al.* (2018) para almidón de papa de 18.1 a 20.6 J/g; y para gránulos de almidón oscilaron entre 15.54 a 17.85 J/g (Thais-Paes *et al.*, 2015). Para almidón de papa y tunta la entalpía de gelatinización osciló entre 15,70 a 16,81 J/g (Cuba, 2021). Por otra parte, para almidones de papa se reportan valores de 16.0 J/g (Lu *et al.*, 2016); 18,8 J/g para gránulos de almidón de papa variedad China (Sun *et al.*, 2017); y 12,3-19 J/g para gránulos de almidón de papa (Zhu & Hao, 2019).

La ruptura de la estructura de los gránulos almidón es ocasionado por el congelamiento y descongelamiento de dichos gránulos, así mismo se incrementa el número de cadenas cortas a comparación de cadenas largas de amilopectina, también se origina el cambio irreversible de estructuras cristalinas y amorfas, a causa de esto el requerimiento de energía disminuye (Chung *et al.*, 2014; Tao *et al.*, 2015; Yu *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2018).

#### **4.6. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE ALMIDONES NATIVOS Y MODIFICADOS DE PAPA Y CHUÑO (*Solanum tuberosum*).**

Es importante conocer la relación entre las variedades de papa, procesos de congelación – descongelación y la modificación con anhídrido acético. Hacemos esta referencia en base al objetivo específico que tuvo la presente investigación, el cual fue caracterizar las propiedades reológicas de los almidones nativos y modificados de papa y chuño, en este sentido, mencionamos lo siguiente:

Las papas nativas utilizadas en la presente investigación fueron, papa dulce variedad Imilla Negra y papa amarga variedad Locka, respecto a las papas nativas dulces, se caracterizan por tener un sabor aceptable por el consumidor, sabor dulce y un contenido de glicoalcaloides bajo en su composición, por otra parte, las papas nativas amargas se caracterizan por tener un sabor amargo, tolerancia a temperaturas bajas (entre -5 a -3 °C) y un contenido de glicoalcaloides elevado (mayor a 20 mg/100g de peso fresco), en esta fresco esta variedad de papa no es apta para el consumidor, por lo tanto, tienen que pasar por un proceso de congelación y descongelación para eliminar la mayor cantidad de glicoalcaloides presentes en su composición, este proceso tradicional da como resultado el chuño, tunta y moraya según sea el caso (Cahuana & Arcos, 2002).

Durante la congelación, el movimiento de agua se debe a la cristalización del agua local, dentro o fuera de las células, lo cual genera concentraciones locales elevadas. Como resultado, el agua no congelada adyacente a las células congeladas es atraída fuertemente hacia estas debido a la diferencia de presión osmótica (Li *et al.*, 2018). En los alimentos celulares vegetales, el agua se desplaza desde la sustancia fundamental citoplasmática a través de las membranas y paredes celulares hacia el espacio intercelular, o desde el interior de la vacuola, pasando por el tonoplasto hacia el citoplasma y luego hacia el espacio intercelular a través de las membranas y paredes celulares, la congelación puede provocar la migración de agua en alimentos de origen tanto vegetal como animal, sin embargo, existen pocas investigaciones sobre la resistencia que oponen la membrana celular, la pared celular y otras endomembranas a la migración de agua durante la congelación de alimentos, la

membrana celular obstaculiza la transferencia de calor durante la congelación, lo que conduce al sobreenfriamiento de la región intracelular, nucleándose a temperaturas considerablemente más bajas que el entorno extracelular (Bertram *et al.*, 2007; Kirtil *et al.*, 2014).

Respecto a la modificación química del almidón con anhídrido acético, consiste en la reacción del almidón con anhídrido acético y acetato de vinilo, y puede llevarse a cabo en presencia de un catalizador alcalino (hidróxido de sodio), agua o un solvente orgánico, La acetilación también afecta las propiedades funcionales del almidón nativo, con el proceso de acetilación, la capacidad de absorción de agua del almidón se incrementa, dado que los gránulos de almidón nativo están fuertemente interconectados, presentan una menor capacidad de unión al agua, mediante la acetilación, se introducen grupos acetilo, lo que puede reducir la densidad del polímero de almidón, generar un impedimento estérico, facilitar el acceso del agua al área amorfa y mejorar la capacidad de absorción de agua (Suri & Singh, 2023). El contenido de amilosa se incrementa de manera gradual con el aumento en el grado de sustitución del grupo hidroxilo de los azúcares por el grupo acetilo (Ashogbon *et al.*, 2021).

#### **4.6.1. Comportamiento del flujo**

El comportamiento al flujo de cada muestra de almidón se ajustó al modelo de Herschel Bulkley, donde se obtuvieron los siguientes parámetros, el umbral de fluencia ( $\sigma_0$ ), el índice de consistencia (K), índice de comportamiento de flujo ( $\eta$ ) y el coeficiente de determinación R<sup>2</sup>, dichos parámetros se muestran en la Tabla 20.

En la presente investigación se caracterizaron las propiedades reológicas de los almidones nativos y modificados de papa y chuño, utilizando variedades de papa dulce y amarga, Imilla Negra y Locka respectivamente, así mismo, el chuño se elaboró en laboratorio a partir de las mismas variedades de papa, respecto a la modificación con anhídrido acético, se utilizaron 3 niveles de modificación, estableciendo de este modo, 16 muestras de almidones.

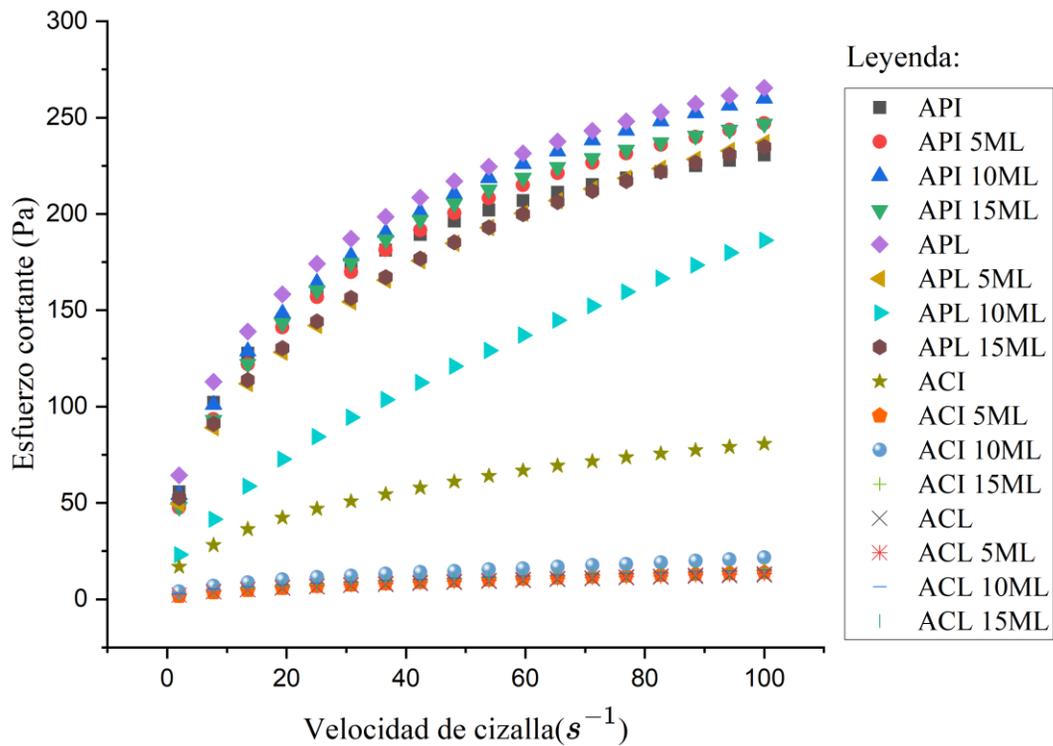
**Tabla 20: Parámetros de la ecuación de Herschel-Bulkley para el comportamiento del flujo de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Muestra   | $\sigma$                   | $\eta$                     | k (Pa.sn)                  | R2    |
|-----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------|
| APL       | 67.83 ± 4.76 <sup>a</sup>  | 0.53 ± 0.01 <sup>g</sup>   | 19.41 ± 0.67 <sup>b</sup>  | 0.979 |
| APL 5ML   | 48.36 ± 0.82 <sup>d</sup>  | 0.59 ± 0.00 <sup>f</sup>   | 12.88 ± 0.44 <sup>e</sup>  | 0.988 |
| APL 10 ML | 23.91 ± 0.70 <sup>e</sup>  | 0.80 ± 0.00 <sup>a</sup>   | 4.20 ± 0.05 <sup>f</sup>   | 0.991 |
| APL 15 ML | 50.36 ± 1.80 <sup>cd</sup> | 0.57 ± 0.01 <sup>f</sup>   | 13.83 ± 0.32 <sup>d</sup>  | 0.985 |
| API       | 52.42 ± 2.60 <sup>bc</sup> | 0.49 ± 0.00 <sup>h</sup>   | 20.46 ± 0.12 <sup>a</sup>  | 0.966 |
| API 5ML   | 50.83 ± 2.34 <sup>cd</sup> | 0.52 ± 0.01 <sup>g</sup>   | 18.71 ± 0.49 <sup>bc</sup> | 0.979 |
| API 10 ML | 55.78 ± 1.14 <sup>b</sup>  | 0.54 ± 0.01 <sup>g</sup>   | 18.37 ± 0.47 <sup>c</sup>  | 0.977 |
| API 15 ML | 50.69 ± 1.88 <sup>cd</sup> | 0.53 ± 0.01 <sup>g</sup>   | 19.11 ± 0.75 <sup>bc</sup> | 0.963 |
| ACL       | 2.04 ± 0.10 <sup>g</sup>   | 0.68 ± 0.01 <sup>de</sup>  | 2.05 ± 0.08 <sup>g</sup>   | 0.997 |
| ACL 5ML   | 2.07 ± 0.09 <sup>g</sup>   | 0.67 ± 0.00 <sup>e</sup>   | 1.94 ± 0.07 <sup>g</sup>   | 0.995 |
| ACL 10 ML | 2.82 ± 0.16 <sup>g</sup>   | 0.66 ± 0.02 <sup>e</sup>   | 1.67 ± 0.13 <sup>g</sup>   | 0.995 |
| ACL 15 ML | 2.49 ± 0.07 <sup>g</sup>   | 0.68 ± 0.00 <sup>cde</sup> | 1.92 ± 0.04 <sup>g</sup>   | 0.995 |
| ACI       | 15.72 ± 0.86 <sup>f</sup>  | 0.59 ± 0.03 <sup>f</sup>   | 4.66 ± 0.78 <sup>f</sup>   | 0.989 |
| ACI 5ML   | 2.04 ± 0.04 <sup>g</sup>   | 0.70 ± 0.00 <sup>bcd</sup> | 1.96 ± 0.04 <sup>g</sup>   | 0.993 |
| ACI 10 ML | 3.37 ± 0.48 <sup>g</sup>   | 0.71 ± 0.03 <sup>bc</sup>  | 1.54 ± 0.20 <sup>g</sup>   | 0.996 |
| ACI 15 ML | 2.29 ± 0.04 <sup>g</sup>   | 0.72 ± 0.01 <sup>b</sup>   | 1.94 ± 0.03 <sup>g</sup>   | 0.995 |

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según LSD de Fisher ( $p < 0.05$ ).

En la Figura 35 se muestran las curvas de flujo de las 16 muestras de almidones nativos y modificados de papa y chuño, las cuales se obtuvieron del esfuerzo cortante (Pa) y la velocidad de la cizalla (S-1), a una temperatura de 25°C para todos los tratamientos.

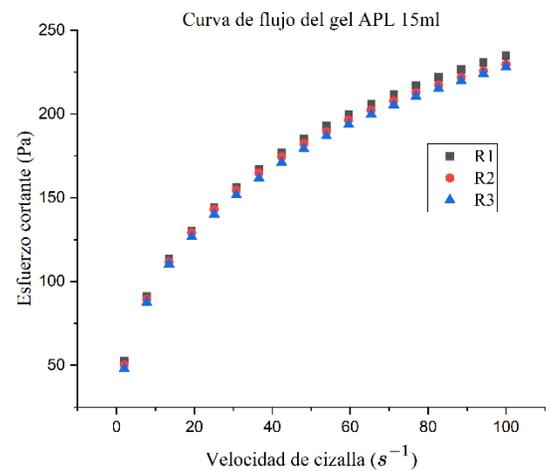
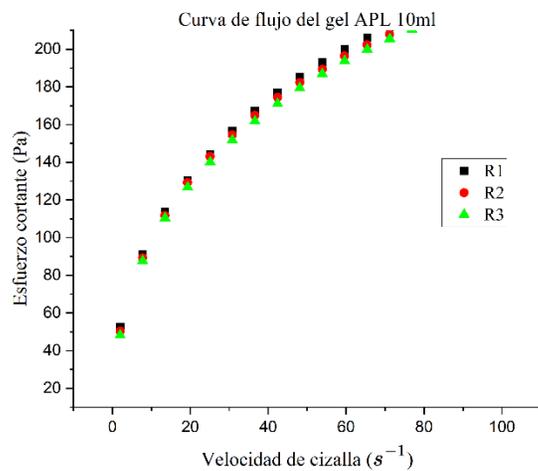
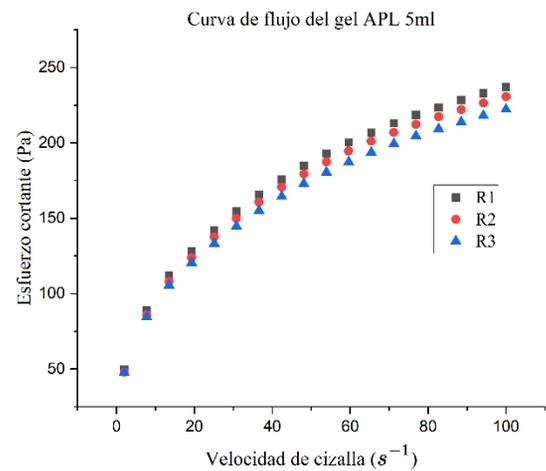
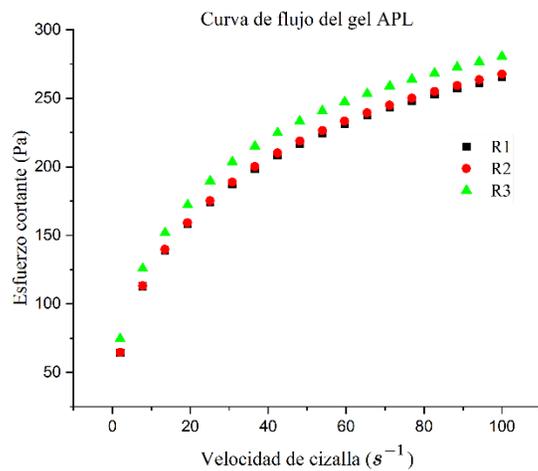
En la Figura 35 se observa un comportamiento de flujo no Newtoniano pseudoplástico con un buen ajuste al modelo de Herschel-Bulkley ( $R^2 > 0.99$ ), cabe resaltar una clara diferencia entre almidones nativos y modificados de papa de las variedades correspondientes, en comparación con los almidones nativos y modificados de chuño.



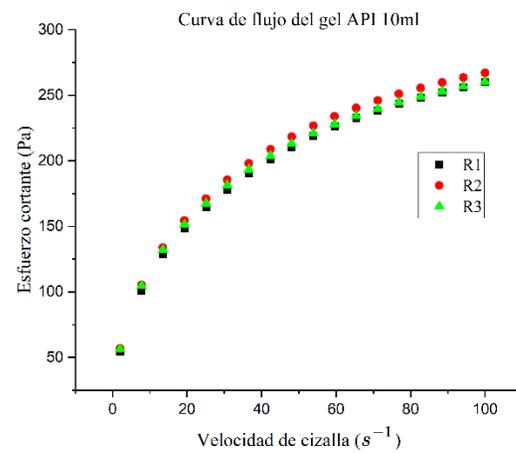
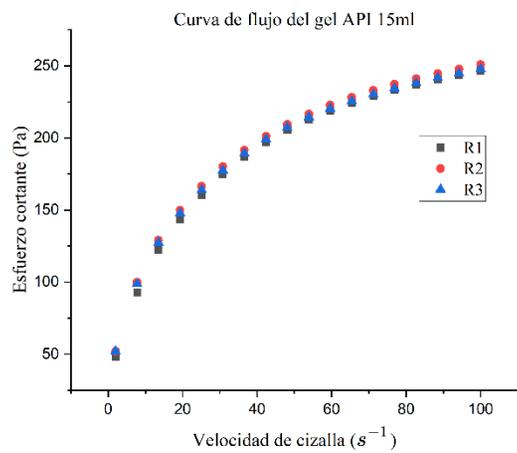
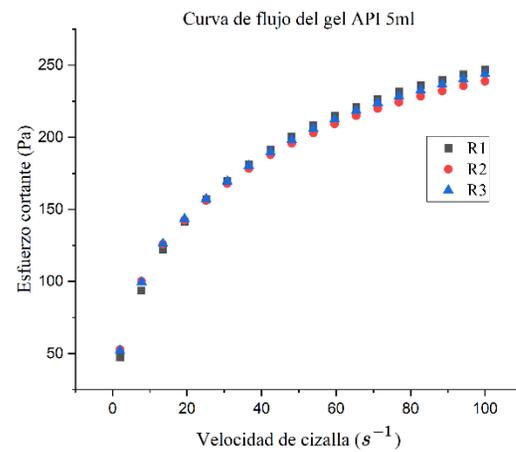
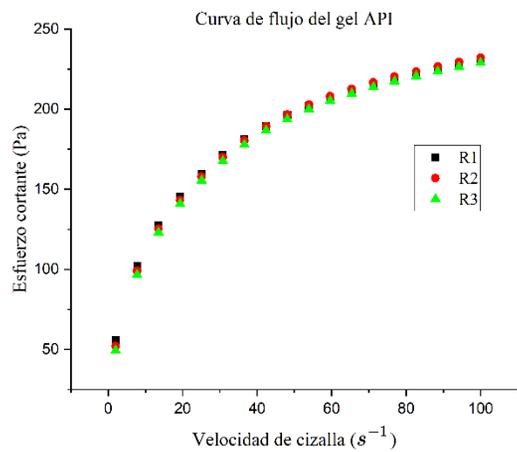
**Figura 35. Curvas de flujo de las 16 muestras de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

Los almidones de nativos y modificados de chuño Imilla Negra y Locka a simple vista no muestran un comportamiento no Newtoniano de naturaleza pseudoplástica, sin embargo, estos almidones si tienen dicho comportamiento, en este sentido damos a conocer las curvas de flujo de cada muestra de almidón en las siguientes Figuras 36, 37, 38 y 39.

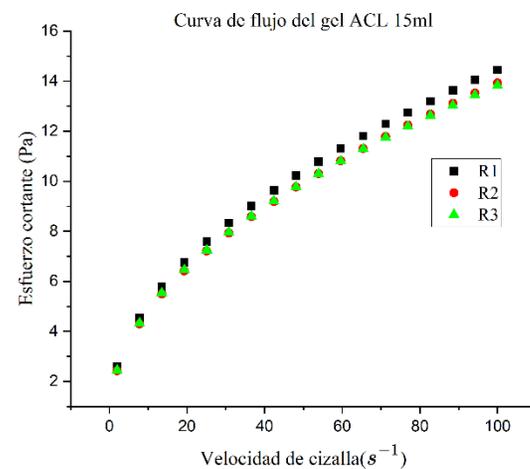
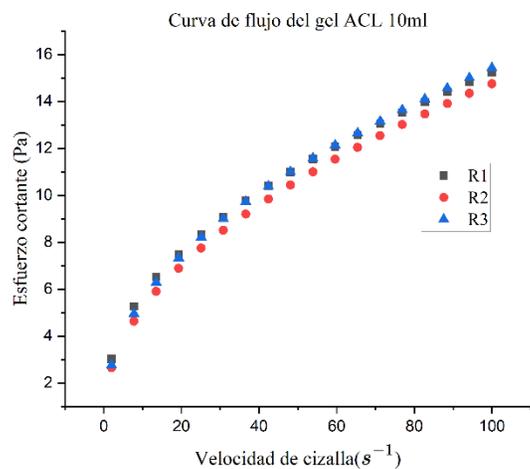
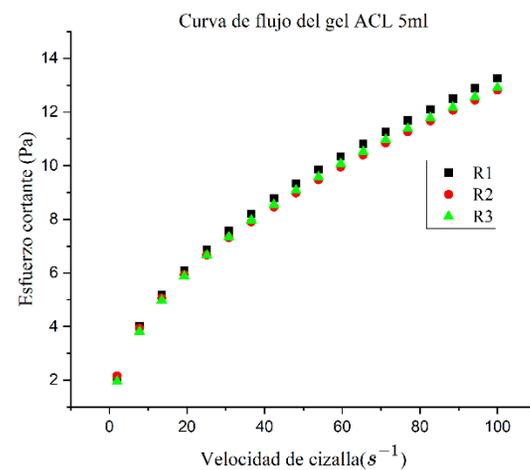
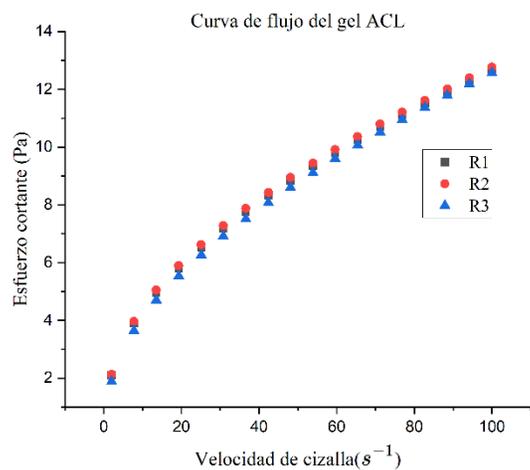
Liu, Ramsden, & Corke (1999) mencionan que las interacciones entre las cadenas del almidón se pueden reducir a causa de la acetilación, debido a la presencia de componentes hidrófilos debilitando la estructura del almidón, consecuencia de esto se origina un incremento en la solubilidad y poder de hinchamiento.



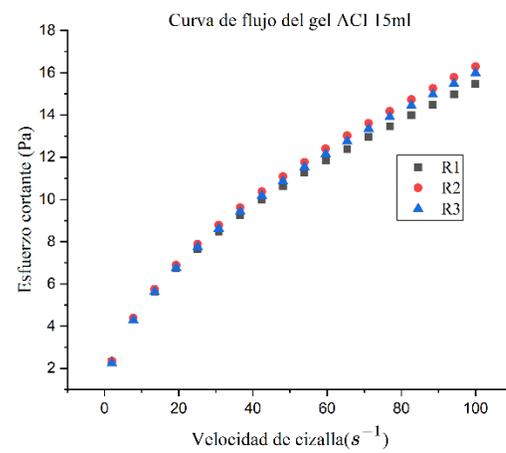
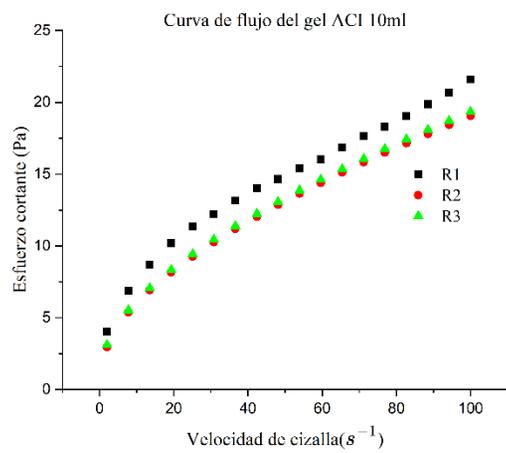
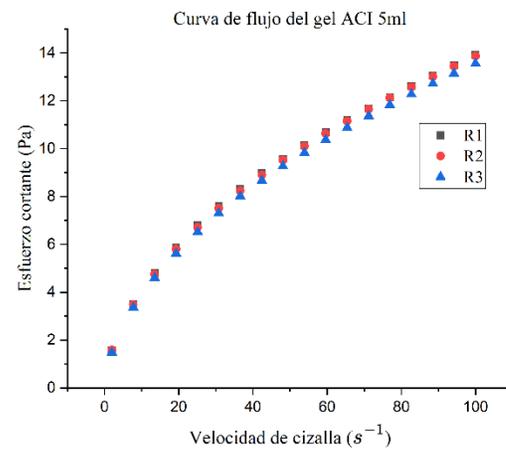
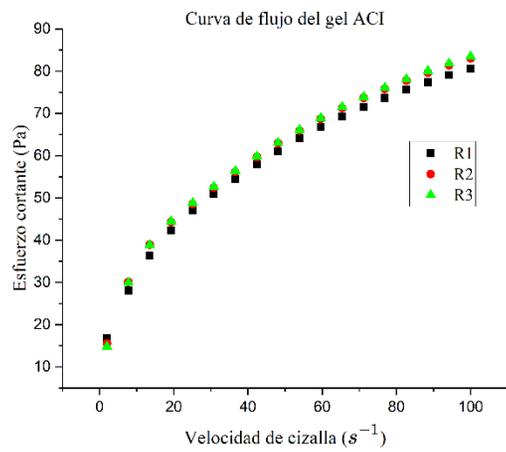
**Figura 36. Curvas de flujo de almidón nativo y modificado de papa Locka.**



**Figura 37. Curvas de flujo de almidón nativo y modificado de papa Imilla Negra.**



**Figura 38. Curvas de flujo de almidón nativo y modificado de chuño Locka.**



**Figura 39. Curvas de flujo de almidón nativo y modificado de chuño Imilla Negra.**

En el estudio realizado por Siroha *et al.* (2019), realizaron la modificación de almidones de mijo perla utilizando niveles de anhídrido acético de 1.25, 2.5, 3.75 y 5 por ciento, los resultados muestran valores de umbral de fluencia ( $\sigma$ ) de 25.5 Pa para el almidón nativo de mijo, respecto a los almidones acetilados el umbral de fluencia ( $\sigma$ ) osciló entre 26.6, 35.8, 37.1 y 50.7 Pa para los niveles de anhídrido acético de 1.25, 2.5, 3.75 y 5 por ciento respectivamente, se observa un incremento en este parámetro reológico a medida que la concentración de anhídrido acético incrementa.

Respecto al análisis de varianza para el umbral de fluencia ( $\sigma$ ), el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 47, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en el umbral de fluencia de los almidones nativos y modificados de papa y chuño de las variedades correspondientes. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 48, se muestra una clasificación por categorías, donde el almidón de papa Locka tiene el mayor umbral de fluencia ( $\sigma$ ) 67.83 y el almidón de chuño Imilla Negra modificado con 5 ml anhídrido acético muestran el menor umbral de fluencia ( $\sigma$ ) 2.04 Pa.

Los valores de umbral de fluencia ( $\sigma$ ) para geles de almidón de papa nativo y modificado fueron significativamente mayores cuyos valores oscilaron entre 23.91 a 67.83 Pa, a comparación de los geles de almidón de chuño nativo y modificado que oscilaron entre 1.55 a 15.72 Pa; esto significa que los geles de almidón de papa nativo y modificado son más fuertes porque requieren un esfuerzo inicial mayor para que puedan fluir, esta característica se puede relacionar con el alto contenido de amilosa (Velásquez-Barreto & Velezmore, 2018). También, se observó que los geles de almidón de chuño nativo y modificado han requerido esfuerzos menores durante el cizallamiento inicial para que dicho gel pueda fluir, esto se debe a que estos geles tienen una estructura de red débil y a la mínima intensidad de fuerzas de atracción (Bortnowska *et al.*, 2014).

Respecto al umbral de fluencia ( $\sigma$ ), se reportan valores entre 2.22 a 5.44 Pa para almidones de papa y 1.40 a 2.99 Pa para almidones de tunta (Cuba, 2021), se puede observar que los geles de almidón de papa necesitan un esfuerzo inicial significativamente mayor en comparación con los geles de tunta. Los geles que necesitan mayor esfuerzo inicial contienen

mayores niveles de amilosa en su composición (Velásquez-Barreto & Velezmoro, 2018). Los geles de almidón que contiene una estructura débil tienen un esfuerzo inicial menor a comparación de los geles de almidón con estructuras más fuertes (Bortnowska *et al.*, 2014). Para obtener el flujo del fluido se necesita el valor del umbral de fluencia que representa el esfuerzo para obtener dicho flujo (Guo *et al.*, 2015). Se reportan esfuerzos de fluencia inicial para gránulos de almidón de yuca 4.02 Pa (Nwokocha *et al.*, 2009); y 8.62 Pa para gránulos almidón de maíz (Rosalyn *et al.*, 2007).

Respecto al análisis de varianza para el índice de comportamiento de flujo ( $\eta$ ), el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 49, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en el índice de comportamiento de flujo ( $\eta$ ) de los almidones nativos y modificados de papa y chuño de las variedades correspondientes. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 50, se muestra una clasificación por categorías, donde el almidón de papa Locka modificado con 10 ml de anhídrido acético muestra el mayor índice de comportamiento de flujo ( $\eta$ ) 0.80 y el almidón de papa Imilla Negra muestra el menor índice de comportamiento de flujo ( $\eta$ ) 0.49.

En el estudio realizado por Siroha *et al.* (2019), realizaron la modificación de almidones de mijo perla utilizando niveles de anhídrido acético de 1.25, 2.5, 3.75 y 5 por ciento, los resultados muestran valores de comportamiento de flujo ( $\eta$ ) de 0.320 para el almidón nativo de mijo, respecto a los almidones acetilados el comportamiento de flujo ( $\eta$ ) osciló entre 0.275, 0.310, 0.305 y 0.308 para los niveles de anhídrido acético de 1.25, 2.5, 3.75 y 5 por ciento respectivamente, se observa que los almidones acetilados tienen valores de comportamiento de flujo ( $\eta$ ) menores a comparación del su almidón nativo. El comportamiento de flujo a causa del cizallamiento se origina por la alineación de forma progresiva de las moléculas de almidón solubles que se orientan en dirección al flujo, además se origina la ruptura de enlaces hidrógeno que están presentes en las moléculas de amilosa (McGrane *et al.*, 2004).

El índice de comportamiento de flujo ( $\eta$ ) es un parámetro que indica la desviación de la muestra del flujo Newtoniano ( $\eta=1$ ) (Sikora *et al.*, 2007). Los valores del índice de comportamiento de flujo ( $\eta$ ) de los almidones nativos y modificados oscilaron entre 0.49 a

0.80; estos valores indican que todos los geles de almidón mostraron un comportamiento no Newtoniano de naturaleza pseudoplástica porque su ( $\eta < 1$ ) con un esfuerzo inicial característico (Przetaczek-Rożnowska, 2017).

Se reportan valores de índice de comportamiento de flujo ( $\eta$ ) para almidón de papa y tunta que oscilan entre 0.46 a 0.53 (Cuba, 2021), por lo tanto, se muestra un flujo no-Newtoniano de naturaleza pseudoplástica porque dicho índice es menor a 1 (Przetaczek-Rożnowska, 2017). Se reportan 0.70 (Przetaczek-Rożnowska, 2017) y 0.31 a 0.49 (Peña, 2017). El comportamiento pseudoplástico de los almidones representa la ruptura de los enlaces de la estructura de dicho polisacárido en presencia de agua, el almidón soluble se orienta en la dirección del flujo y el quebrantamiento de las uniones de hidrógenos que se constituyen por las moléculas de amilosa mientras ocurre el cizallamiento (Sandhu & Siroha, 2017; Sun & Yoo, 2015).

El índice de consistencia al igual que el parámetro anterior umbral de fluencia dependen de factores como la temperatura, tamaño del gránulo de almidón, propiedades funcionales, entre otros (Przetaczek-Rożnowska, 2017). Se reportan valores de índice de comportamiento al flujo para almidón de papa de India 0.35 (Mishra & Rai, 2006); 0.50 para almidón procedente de Colombia (Zuluaga, Baena, Mora, & De León, 2007) y 0.28 para almidón procedente de Irlanda (Nwokocha, Aviara, Senan, & Williams, 2014). La disminución del comportamiento pseudoplástico se origina a causa de un aumento en los valores del índice de comportamiento al flujo (Amini, Seyed, & Seyed, 2015; Fu, Luo, BeMiller, Liu, & Liu, 2015).

Respecto al análisis de varianza para el índice de consistencia (K), el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 51, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa en el índice de consistencia (K) de los almidones nativos y modificados de papa y chuño de las variedades correspondientes. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 52, se muestra una clasificación por categorías, donde el almidón de papa Imilla Negra muestra el mayor índice de consistencia (K) 20.46 y almidón de chuño Imilla Negra modificado con 10 ml de anhídrido acético muestra en menor índice de consistencia (K) 1.54.

El índice de consistencia (K) de los almidones nativos y modificados de papa y chuño oscilaron entre 1.54 a 20.46 Pa.sn. El índice de consistencia (K) es un parámetro que se utiliza como criterio de viscosidad (Sikora *et al.*, 2007), también es un indicador de la viscosidad inicial de los geles de almidón (Przetaczek-Rożnowska, 2017). Se reportan valores de 6.86 a 15.75 Pa.sn. para gránulos de almidón de papa y tunta (Cuba, 2021). Valores mayores son reportados por Peña (2017) donde oscilaron entre 5.01 a 43.72 Pa.sn. Por otra parte, Przetaczek-Rożnowska (2017) reporta 3.95 Pa.sn. Para almidón de papa se reporta un valor de 3.40 Pa.sn.

#### 4.7. ELABORACIÓN DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES CON ALMIDÓN NATIVO Y MODIFICADO.

##### 4.7.1. Determinación de tasa de respiración de recubrimientos comestibles

En la Tabla 21 se muestran la tasa de respiración de las fresas con y sin recubrimiento en términos de la generación de CO<sub>2</sub>, consumo de O<sub>2</sub>, y el coeficiente respiratorio CR.

**Tabla 21: Tasa de respiración de fresas con y sin recubrimiento.**

| Tratamiento | V. consumo O <sub>2</sub><br>(mL/kg·h) | V. producción<br>CO <sub>2</sub> (mL/kg.h) | CR (CO <sub>2</sub> / O <sub>2</sub> ) |
|-------------|--|--|--|
| SR          | -23.09 ± 0.01 <sup>abc</sup>           | 9.93 ± 0.37 <sup>bc</sup>                  | 0.43 ± 0.02 <sup>b</sup>               |
| API         | -23.13 ± 0.01 <sup>abc</sup>           | 7.51 ± 0.02 <sup>d</sup>                   | 0.32 ± 0.00 <sup>c</sup>               |
| APIM        | -23.17 ± 0.02 <sup>bc</sup>            | 10.12 ± 0.02 <sup>b</sup>                  | 0.44 ± 0.00 <sup>b</sup>               |
| APL         | -22.91 ± 0.31 <sup>abc</sup>           | 7.28 ± 0.03 <sup>d</sup>                   | 0.32 ± 0.00 <sup>c</sup>               |
| APLM        | -23.14 ± 0.01 <sup>abc</sup>           | 10.71 ± 0.03 <sup>a</sup>                  | 0.46 ± 0.00 <sup>a</sup>               |
| ACI         | -22.71 ± 0.37 <sup>a</sup>             | 9.78 ± 0.03 <sup>c</sup>                   | 0.43 ± 0.01 <sup>b</sup>               |
| ACIM        | -23.15 ± 0.01 <sup>bc</sup>            | 10.85 ± 0.19 <sup>a</sup>                  | 0.47 ± 0.01 <sup>a</sup>               |
| ACL         | -23.00 ± 0.20 <sup>abc</sup>           | 7.51 ± 0.05 <sup>d</sup>                   | 0.33 ± 0.00 <sup>c</sup>               |
| ACLM        | -23.36 ± 0.31 <sup>c</sup>             | 10.78 ± 0.03 <sup>a</sup>                  | 0.46 ± 0.00 <sup>a</sup>               |

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según LSD de Fisher (p<0.05).

En la Tabla 21 se muestran los tratamientos:

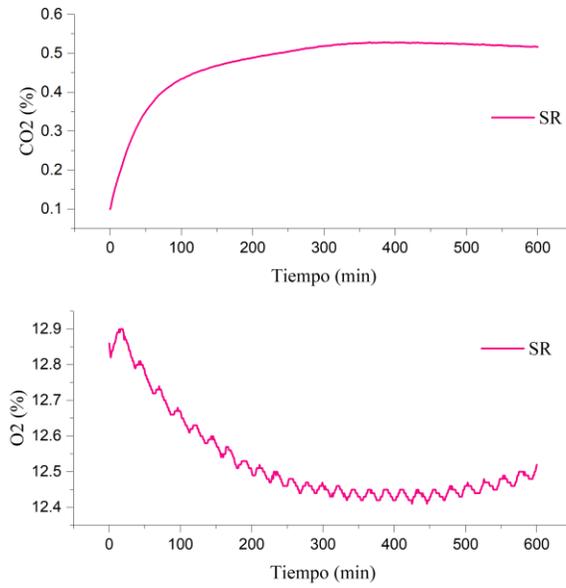
- SR: Sin recubrimiento
- API: Recubrimiento con almidón de papa Imilla Negra.

- APIM: Recubrimiento con almidón modificado de papa Imilla Negra.
- APL: Recubrimiento con almidón de papa Locka.
- APLM: Recubrimiento con almidón modificado de papa Locka.
- ACI: Recubrimiento con almidón de chuño Imilla Negra.
- ACIM: Recubrimiento con almidón modificado de chuño Imilla Negra.
- ACL: Recubrimiento con almidón de chuño Locka.
- ACLM: Recubrimiento con almidón modificado de chuño Locka.

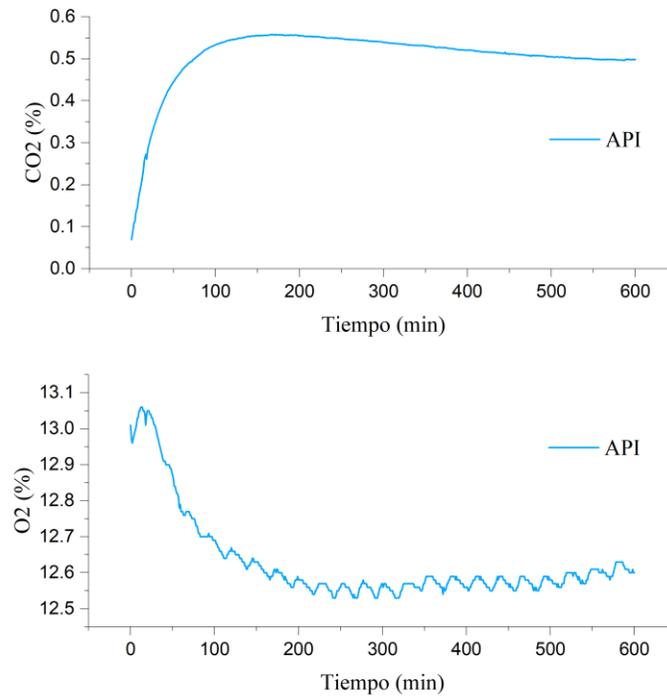
Los almidones modificados que se utilizaron para la elaboración de los recubrimientos comestibles fueron seleccionados en base a investigaciones realizadas por (Matignon & Tecante, 2017) mencionan que la proporción de amilosa y amilopectina presentes en los materiales de empaque a base de almidón es relevante porque el patrón de distribución de la longitud de la cadena unitaria en la estructura interna de los mismos afecta las propiedades térmicas y mecánicas y el perfil de retrogradación de los almidones. Así mismo, un menor contenido de amilosa mostró una reducción de la heterogeneidad, una menor resistencia máxima a la tracción y rigidez (módulo de Young), pero la mayor deformación de las películas. Por otro lado, las películas de almidón obtenidas a partir de un alto contenido de amilosa tienen mayor resistencia mecánica con mayores valores de resistencia máxima a la tracción y menor deformación de las películas ya que se pueden formar más enlaces de hidrógeno entre cadenas lineales (amilosa) de almidón generando una asociación molecular más estrecha y rígida (Tarique, Zainudin, Sapuan, Ilyas, & Khalina, 2022; Domene-López *et al.*, 2019).

La maduración y el crecimiento de los frutos están ligados a la intensidad de la respiración, de manera esquemática, el proceso respiratorio, que comprende una gran cantidad de reacciones metabólicas, se inicia en las hojas, que captan la energía solar y, mediante la fotosíntesis, almacenan compuestos orgánicos, una vez recolectado el fruto, este sigue vivo gracias a sus reservas, que, a través de la glucólisis y el ciclo de Krebs, se transforman mediante oxidación enzimática en productos primarios esenciales para la síntesis de nueva materia viva y para la generación de energía (Ortolá, 2020).

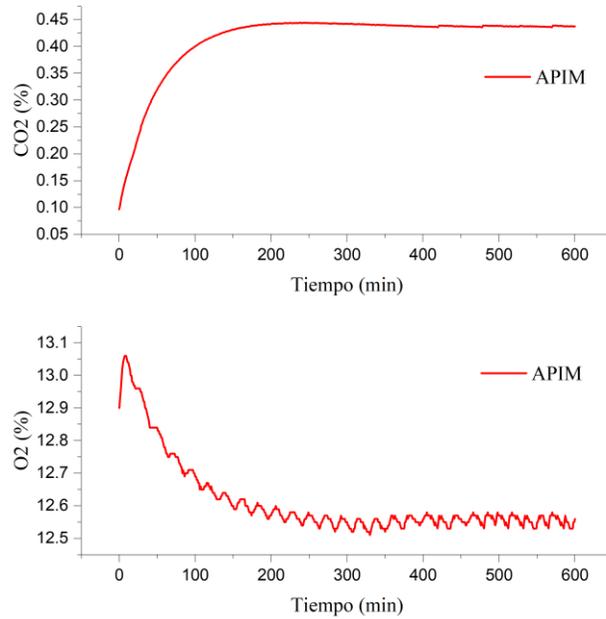
En las siguientes figuras se da a conocer el consumo de O<sub>2</sub> y la emisión de CO<sub>2</sub> de las fresas con y sin recubrimiento en un periodo de 10 horas a una temperatura de 10°C.



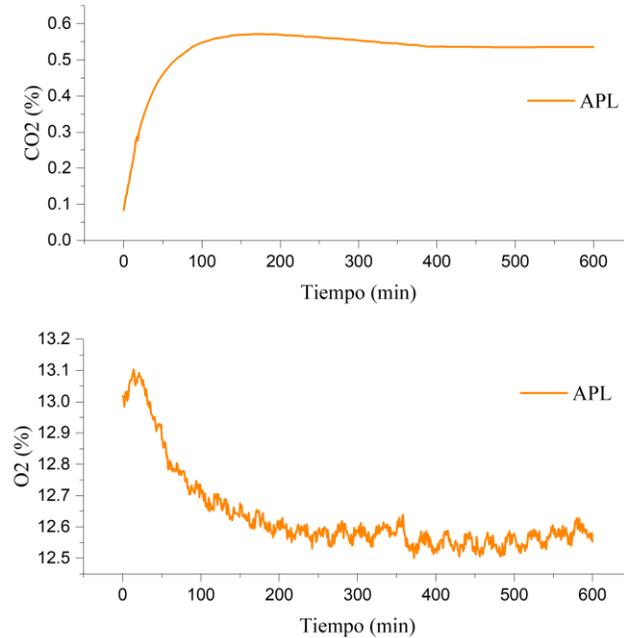
**Figura 40. Consumo de  $O_2$  y la emisión de  $CO_2$  de fresas sin recubrimiento.**



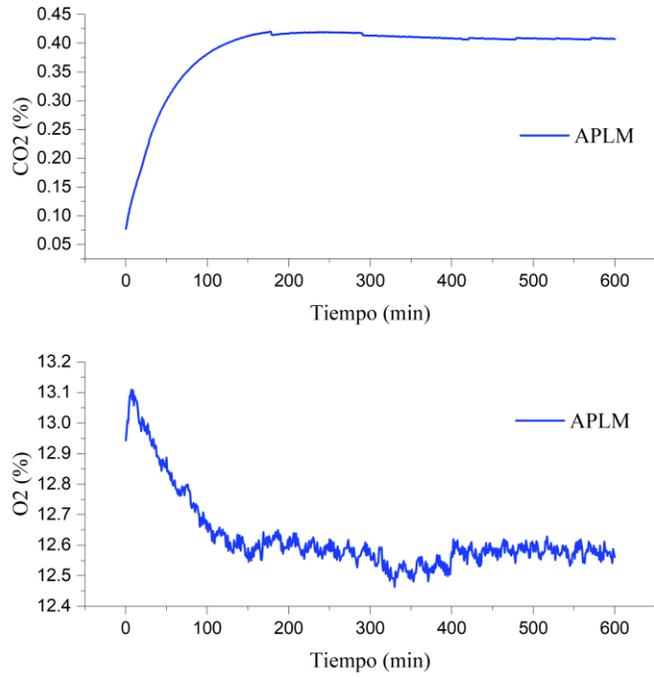
**Figura 41. Consumo de  $O_2$  y la emisión de  $CO_2$  de fresas con recubrimiento de almidón de papa Imilla Negra.**



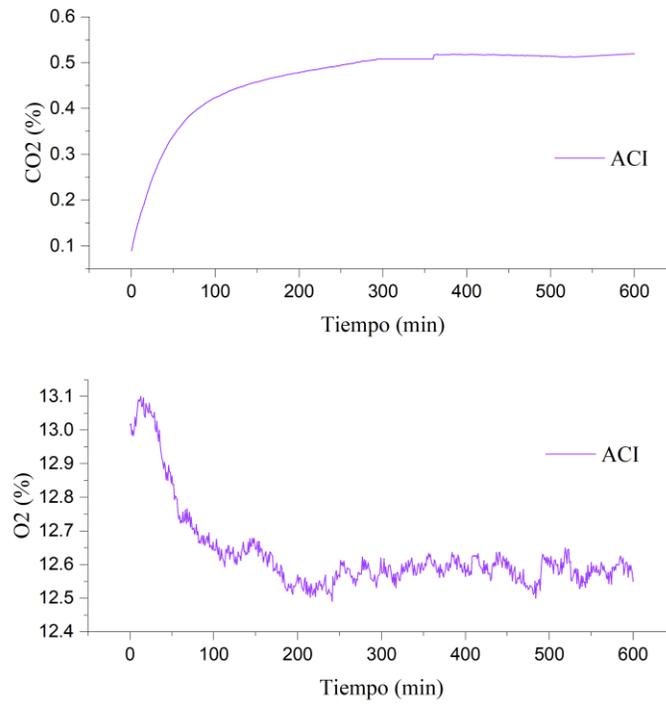
**Figura 42. Consumo de  $O_2$  y la emisión de  $CO_2$  de fresas con recubrimiento de almidón modificado de papa Imilla Negra.**



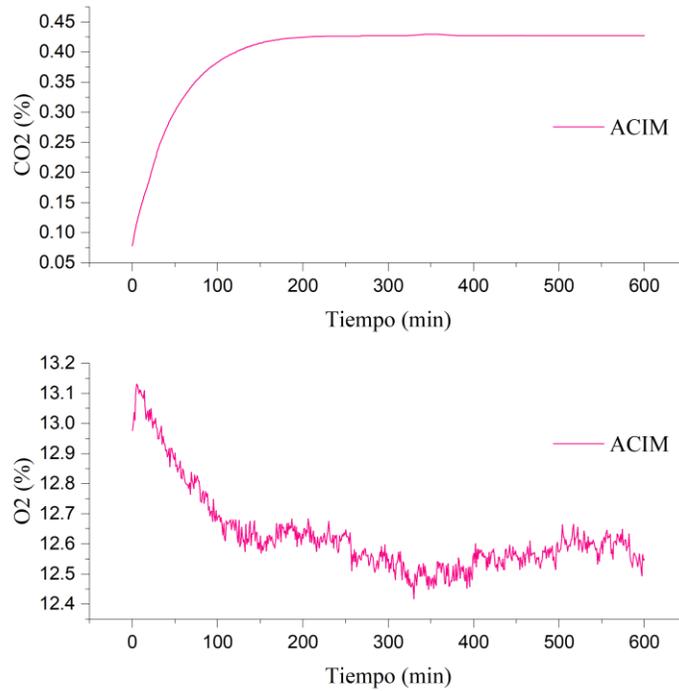
**Figura 43. Consumo de  $O_2$  y la emisión de  $CO_2$  de fresas con recubrimiento de almidón de papa Locka.**



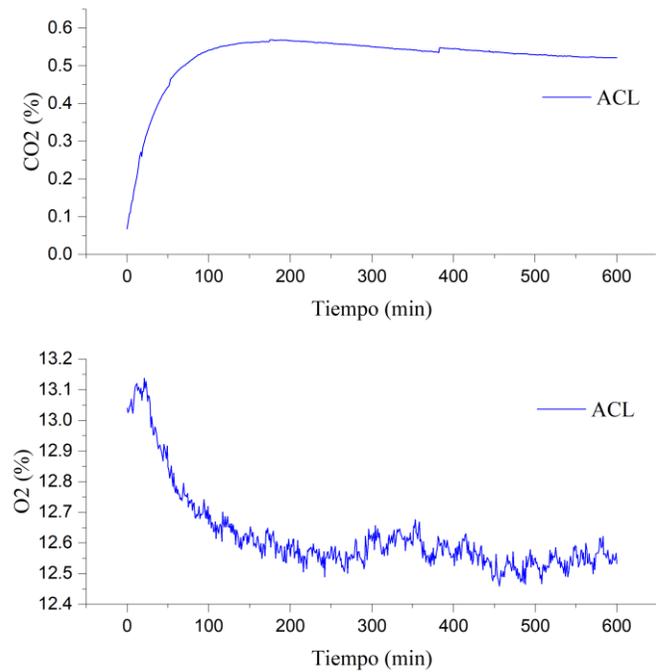
**Figura 44. Consumo de  $O_2$  y la emisión de  $CO_2$  de fresas con recubrimiento de almidón modificado de papa Locka.**



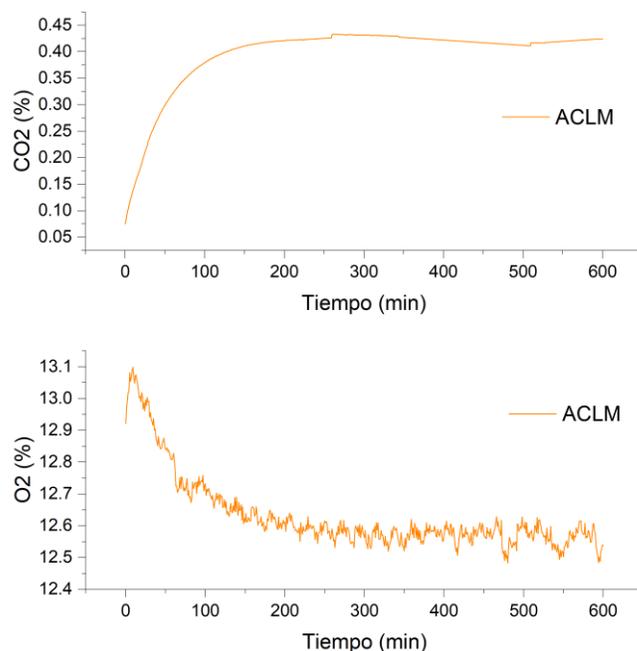
**Figura 45. Consumo de  $O_2$  y la emisión de  $CO_2$  de fresas con recubrimiento de almidón de chuño Imilla Negra.**



**Figura 46. Consumo de  $O_2$  y la emisión de  $CO_2$  de fresas con recubrimiento de almidón modificado de chuño Imilla Negra.**



**Figura 47. Consumo de  $O_2$  y la emisión de  $CO_2$  de fresas con recubrimiento de almidón de chuño Locka.**



**Figura 48. Consumo de  $O_2$  y la emisión de  $CO_2$  de fresas con recubrimiento de almidón modificado de chuño Locka.**

La tasa respiratoria es una característica muy importante de las frutas, refiere a la cantidad de oxígeno consumido o cantidad de dióxido de carbono liberado por cada kilogramo de fruta en un tiempo de una hora, esta tasa está influenciada por varios factores, tales como la temperatura, estado de desarrollo, composición atmosférica, tamaño del producto, daños mecánicos, presencia de etileno y el nivel de corte (Ortolá, 2020).

La respiración aeróbica es un mecanismo muy importante, mediante este mecanismo se logra la degradación de forma oxidativa de muchos compuestos que están almacenados tales como las grasas, carbohidratos, ácidos orgánicos, los cuales se convierten en moléculas como  $CO_2$  y agua, de esta manera se libera energía, ATP y calor (Mangaraj & Goswami, 2011).

Respecto al análisis de varianza para la tasa de respiración en términos de generación de  $O_2$ , el p-valor fue mayor a 0.05 mostrado en el Anexo 53, por lo tanto, no existe diferencia significativa para la tasa de respiración en términos de generación de  $O_2$  de las fresas con y sin recubrimiento. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 54, se muestra una clasificación por categorías, donde las fresas con

recubrimiento de almidón de chuño Imilla Negra muestra el mayor consumo de  $O_2$  con -22.71 ml/kg.h y las fresas con recubrimiento de almidón modificado de chuño Locka muestra en menor consumo de  $O_2$  con -23.36 ml/kg.h.

Respecto al análisis de varianza para la tasa de respiración en términos de generación de  $CO_2$ , el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 55, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa para la tasa de respiración en términos de generación de  $CO_2$  de las fresas con y sin recubrimiento. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 56, se muestra que las fresas con recubrimiento de almidón modificado de papa Locka tiene la mayor emisión de  $CO_2$  con 10.71 ml/kg.h y las fresas con recubrimiento de almidón de papa Locka muestra la menor emisión de  $CO_2$  con 7.28 ml/kg.h

Respecto al análisis de varianza para el coeficiente respiratorio (CR), el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 57, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa para el coeficiente respiratorio (CR) de las fresas con y sin recubrimiento. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 58, se muestra una clasificación por categorías, donde las fresas con recubrimiento de almidón modificado de chuño Imilla Negra tiene el mayor coeficiente respiratorio 0.47 y las fresas con recubrimiento de almidón de papa Locka muestra el menor coeficiente respiratorio 0.32.

En las figuras 40, 41, 42, 42, 43, 44, 45, 46, 47 y 48 se muestra el consumo de  $O_2$  y emisión de  $CO_2$  de las fresas con y sin recubrimiento, en este sentido las tasa de respiración en términos de consumo de  $O_2$  no muestra diferencias significativas y la tasa de respiración en términos de emisión de  $CO_2$  si muestra diferencias significativas entre tratamientos; podemos atribuir estas diferencias a los componentes que se utilizaron en la elaboración del recubrimiento comestible; en el estudio realizado por Mota, Colivet, & Cañizares (2018), utilizaron almidón de yuca y glicerina para la elaboración de recubrimiento comestible los cuales fueron aplicados a guayaba, el recubrimiento con 7 por ciento de almidón de yuca y

glicerina ayudó a preservar las características de vida útil como el pH, acidez y ácido ascórbico durante el periodo de almacenamiento de 25 días. Respecto al glicerol se menciona que es un plastificante, proporcionan propiedades mecánicas, propiedades de barrera como la permeabilidad a los recubrimientos comestibles, coeficientes de difusión de agua o gases y cambian la estructura de los recubrimientos (Yu, 2014).

En el estudio realizado por Cruz & Sarango (2017), aplicaron recubrimientos a mango utilizando como componentes de dicho recubrimiento mucílago de linaza, polisorbato 80 (0.1 por ciento) y glicerol (0.3 por ciento), la aplicación de recubrimiento mencionado logró reducir la pérdida de peso en un tiempo de almacenamiento de 16 días, se afirma que los polisacáridos como el glicerol y polisorbato actuaron como barrera sobre la difusión del vapor de agua y transporte de masa, así mismo, estos componentes le dieron propiedades hidrofóbicas a los recubrimientos comestibles. Por otra parte, Ancco (2022) mencionan que la permeabilidad al vapor de agua de recubrimientos a base de quitosano, mucílago y glicerina fue significativamente diferente, la formulación que obtuvo menor permeabilidad al vapor de agua  $1.4 \times 10^{-10} \pm 8.9 \times 10^{-12}$  g/m.s.pa, este recubrimiento estaba compuesta por 2.5 por ciento de glicerina.

En el estudio realizado por Carvalho do Lago *et al.* (2023), aplicaron recubrimientos comestibles con bionanocompuestos a base de coproductos a fresas, la tasa de respiración  $\text{CO}_2$  se determinó utilizando 100g de muestra, un envase de vidrio con capacidad de 500ml, la muestra de fresa ya mencionada se colocó en los envases de vidrio herméticamente cerrados y luego de 3 horas la actividad respiratoria se determinó una vez cada 3 días por un periodo de 21 días de almacenamiento en refrigeración, en los primeros 18 días de almacenamiento la actividad respiratorio fue de 20 ml de  $\text{CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  aproximadamente, posteriormente incremento hasta llegar a 45 ml de  $\text{CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  a los 21 días de almacenamiento, se observó que los recubrimientos comestibles aplicados en el presente estudio incrementaron las propiedades de barrera porque disminuyeron la permeabilidad a los gases, también mencionan que si reducimos la permeación de  $\text{O}_2$  la actividad respiratoria, de forma directa puede limitar sustrato que está disponible para la respiración de  $\text{O}_2$  y de

forma indirecta puede reducir la síntesis de etileno que es una fitohormona que incrementa la respiración.

Por otra parte, las fresas son frutos no climatéricos, sin embargo, estudios mencionan que un incremento en la actividad respiratorias en fresas con un estado de madurez alto (Tosetti *et al.*, 2020), el incremento de la actividad respiratorio de este tipo de fruto se puede asociar al etileno presente en esta cuya biosíntesis es elevada en fresas muy maduras (Sánchez-Sevilla *et al.*, 2017).

El uso de recubrimientos comestibles para aumentar la vida útil de las frutas es un método muy efectivo, un recubrimiento comestible proporciona una barrera contra los gases (Vargas *et al.*, 2008). De forma general los recubrimientos se pueden aplicar de forma líquida sobre la parte externa de los alimentos, algunos métodos son mediante filtración, inmersión y pulverización (McHugh & Senesi, 2000).

#### **4.7.2. Determinación de permeabilidad al vapor de agua de recubrimientos comestibles**

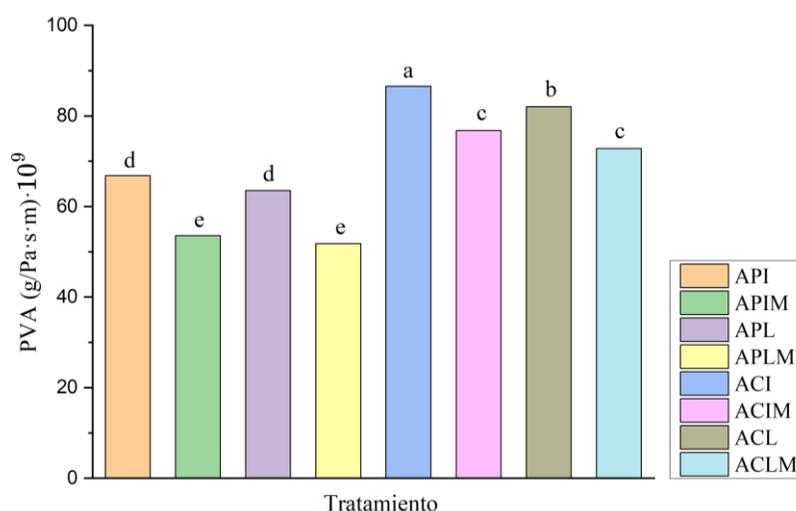
En la Tabla 22 se muestran la permeabilidad al vapor de agua de los 8 recubrimientos comestibles a base de almidón nativo y modificado de papa y chuño.

**Tabla 22: Permeabilidad al vapor de agua de recubrimientos comestibles**

| Tratamiento | PVA(g/Pa.s.m)·10 <sup>9</sup> |
|-------------|-------------------------------|
| API         | 66.80 ± 1.31 <sup>d</sup>     |
| APIM        | 53.57 ± 1.65 <sup>e</sup>     |
| APL         | 63.53 ± 3.75 <sup>d</sup>     |
| APLM        | 51.80 ± 1.31 <sup>e</sup>     |
| ACI         | 86.57 ± 1.37 <sup>a</sup>     |
| ACIM        | 76.73 ± 1.46 <sup>c</sup>     |
| ACL         | 82.03 ± 2.26 <sup>b</sup>     |
| ACLM        | 72.77 ± 2.34 <sup>c</sup>     |

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según LSD de Fisher (p<0.05).

Respecto al análisis de varianza para la permeabilidad al vapor de agua, el p-valor fue menor a 0.05 mostrado en el Anexo 59, por lo tanto, no todas las medias son iguales es decir existe diferencia significativa para la permeabilidad al vapor de agua de los recubrimientos comestibles de almidón nativo y modificado de papa y chuño. Por otro parte la prueba LSD de Fisher dio a conocer el análisis estadístico mostrado en el Anexo 60, se muestra una clasificación por categorías, donde el recubrimiento de almidón de chuño Imilla tiene la mayor permeabilidad al vapor de agua con  $86.57 \text{ (g/Pa.s.m)} \cdot 10^9$  y el recubrimiento con almidón modificado de papa Locka muestra el menor valor de permeabilidad al vapor de agua con  $51.80 \text{ (g/Pa.s.m)} \cdot 10^9$ .



**Figura 49. Permeabilidad al vapor de agua de recubrimientos con almidón nativo y modificado de papa y chuño.**

En la Figura 49 se muestra la permeabilidad al vapor de agua de los recubrimientos a base de almidón nativo y modificado los cuales oscilaron entre 51.80 a  $86.57 \text{ (g/Pa.s.m)} \cdot 10^9$ , observamos que el uso de almidones modificados en todos los tratamientos disminuyó la permeabilidad al vapor de agua.

Valores más reducidos de permeabilidad al vapor de agua muestran mayor eficiencia como barrera de gases, vapor de agua y prevenir la pérdida de agua de las frutas, se reportan valores de permeabilidad al vapor de agua que oscilan entre 5.95 a  $11.92 \text{ g.mm/m}^2 \cdot \text{h.kPa}$  de films a base de nanoemulsión de aceite esencial, polisorbato, pectina, glicerina, ácido acético y quitosano, este recubrimiento fue aplicado a fresas, así mismo los valores altos de

permeabilidad al vapor de agua se debe a la estructura, irregularidades y rugosidad de la superficie de los recubrimientos comestibles (Abdalla *et al.*, 2023).

La permeabilidad al vapor de agua es una propiedad de barrera contra los gases muy importante, es una característica propia de biopolímeros que son aplicados a matrices alimentarias como las frutas (Muley & Singhal, 2020). Se reportan valor de 0,282 g.mm/m<sup>2</sup>.h.kPa para recubrimientos a base de pectina (Mamani & Ferreira, 2011). Para evitar la pérdida de peso en términos de agua de las frutas se recomienda que los recubrimientos y/o películas comestibles tengan una permeabilidad al vapor de agua baja (Samsalee & Sothornvit, 2019).

De acuerdo a la porosidad de las frutas, la permeabilidad al vapor de agua puede variar, se reportan valores de 21.46 a 31.15 por ciento (Muley & Singhal, 2020). Así mismo la variación de esta característica se relaciona con la densidad, peso molecular, orientación molecular y el grado de modificación (Dhumal *et al.*, 2019).

En el estudio realizado por Beléndez (2017), reportaron que la permeabilidad al vapor de agua osciló entre 21.1, 24.0, 27.0 y 44.8 g/Pa.s.m.10<sup>9</sup> para recubrimientos a base de almidón de maíz y tensoactivos, el recubrimiento a base de almidón de maíz obtuvo el mayor valor de permeabilidad al vapor de agua; se observó que el uso de tensoactivos disminuyó los valores de permeabilidad al vapor de agua debido al carácter anfifílico de los tensoactivos favoreciendo la reducción de esta propiedad de barrera (Chen *et al.*, 2009; Ortega-Toro *et al.*, 2014).

El almidón se puede utilizar como un material para la elaboración de recubrimientos comestibles porque presenta una estructura granular y sus componentes mayoritarios son la amilosa y amilopectina (Cano *et al.*, 2014).

Así mismo, el uso de un agente plastificante es importantes para aumentar su estabilidad, el glicerol es un plastificante muy utilizado en este sentido (Souza *et al.*, 2012), respecto a la reducción de la permeabilidad al vapor de agua en recubrimientos comestibles los tensoactivos como el polisorbato pueden ayudar a disminuir esta cualidad, (Chen *et al.*, 2009).

#### **4.7.3. Determinación de pérdida de peso, acidez, pH y °Brix de fresas con recubrimiento comestible.**

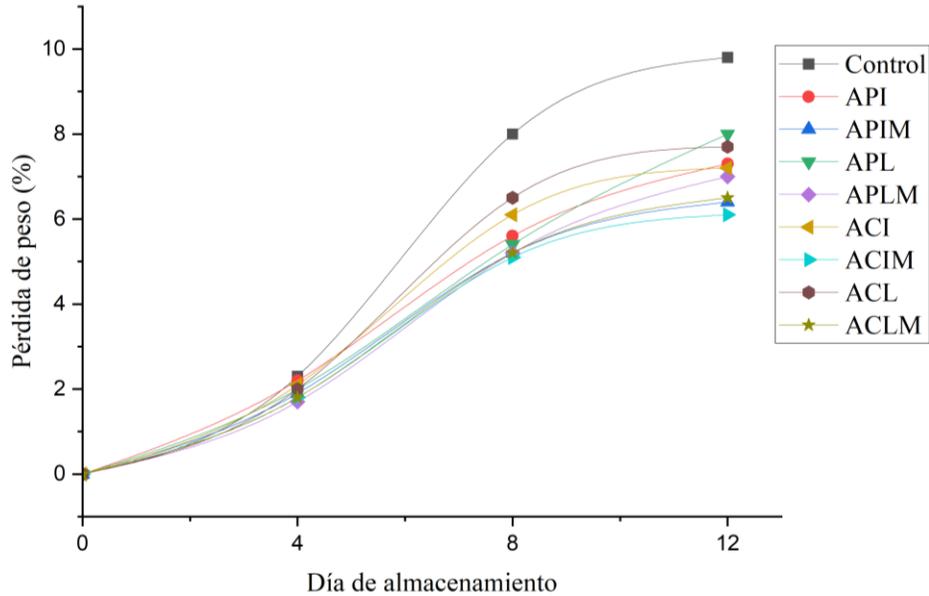
En la Tabla 23 se muestran la pérdida de peso, acidez, pH y °Brix de las fresas con recubrimiento comestible a una temperatura de refrigeración durante 12 días. El análisis ANOVA y la prueba LSD de Fisher se muestran en el Anexo 61 a 90.

##### **- Pérdida de peso**

En la Figura 50 se observa la pérdida de peso (%) en fresas con y sin recubrimiento durante el periodo de almacenamiento de 12 días a una temperatura de refrigeración de 5°C.

Según el análisis de varianza para el porcentaje de pérdida de peso en fresas con y sin recubrimiento almacenadas en refrigeración 5°C durante 12 días se observa que el día 4 de almacenamiento no existió diferencia significativa entre tratamientos donde el peso de las fresas control disminuyó en un 2.3 por ciento y las fresas con recubrimiento comestible de almidón modificado de papa Locka mostró la menor pérdida de peso con un 1.73 por ciento; en el día 8 de almacenamiento se mostró diferencia significativa entre tratamientos donde las fresas control mostraron un 8.03 por ciento de pérdida de peso y las fresas con almidón modificado de chuño Imilla Negra mostró la menor pérdida de peso con un 5.14 por ciento; en el día 12 de almacenamiento se mostró diferencia significativa entre tratamientos respecto a la pérdida peso donde las fresas control mostraron la mayor pérdida de peso 9.80 por ciento y las fresas con recubrimiento de almidón modificado de chuño Imilla Negra mostró la menor pérdida de peso con 6.10 por ciento; en este sentido podemos mencionar que la modificación con anhídrido acético proporcionó las características adecuadas para que la pérdida de peso en fresas con recubrimiento sea menor en comparación con las fresas sin recubrimiento.

Guerreiro *et al.* (2015); Perdonés, Sánchez-González, Chiralt, & Vargas (2012) reportan resultados similares, luego de 14 días la pérdida de peso no fue significativa. Por otra parte, la temperatura influye significativamente en la pérdida de peso, se reporta 18.13 y 13.27 al día 5 y 2 de almacenamiento con temperatura de 5 y 20°C respectivamente para fresas sin recubrimiento (Muley & Singhal, 2020).



**Figura 50. Pérdida de peso (%) en fresas con y sin recubrimiento.**

El parámetro que se relaciona con la pérdida de agua consecuencia de la respiración y transpiración es la pérdida de peso (Guerreiro, Gago, Faleiro, Miguel, & Antunes, 2015). Se reportan valores de pérdida de peso que oscilan entre 15.52 a 23.62 por ciento luego de 12 días de almacenamiento de recubrimientos a base de nanoemulsión de quitosano, pectina y aceite esencial de limón los cuales fueron aplicados a fresas, así mismo los valores altos de permeabilidad al vapor de agua se debe a la estructura, irregularidades y rugosidad de la superficie de los recubrimientos comestibles, la muestra control obtuvo un porcentaje de pérdida de peso de 15.52 por ciento, sin embargo las demás muestras no tuvieron diferencias significativas, las fresas tienen una piel muy permeable y fina, estas dos características ocasionan la pérdida de agua y cambios en su estructura (Abdalla *et al.*, 2023).

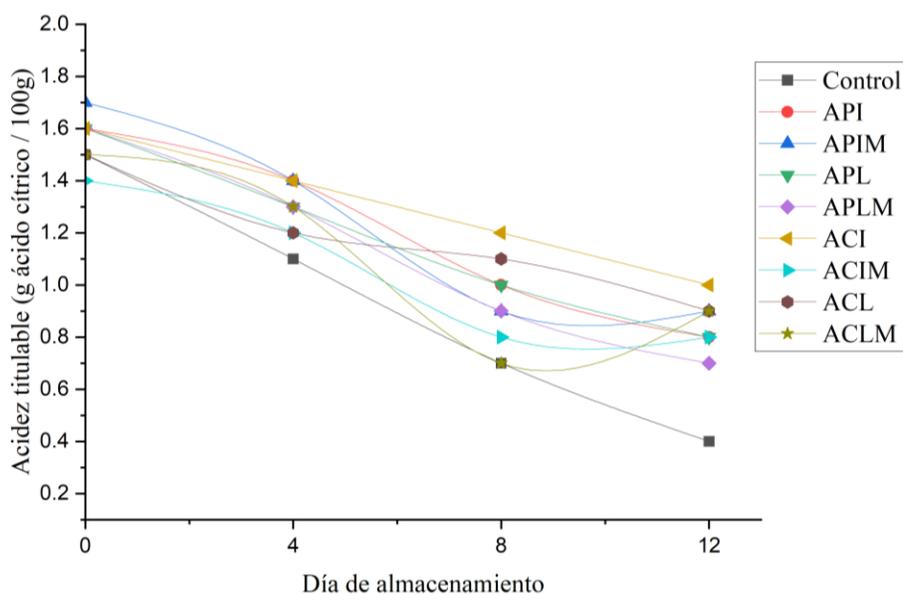
#### - Acidez

En la Figura 51 se observa la disminución de la acidez en fresas con y sin recubrimiento durante el periodo de almacenamiento de 12 días a una temperatura de refrigeración de 5°C.

Según el análisis de varianza para acidez en fresas con y sin recubrimiento almacenadas en refrigeración 5°C durante 12 días se observa que en el día 0 de almacenamiento no existió diferencia significativa entre tratamientos donde la acidez osciló entre 1.39 a 1.65 (g ácido cítrico / 100 g), en cambio en el día 4 almacenamiento si existió diferencia significativa entre

tratamientos donde la acidez osciló entre 1.09 a 1.45 (g ácido cítrico / 100 g), de igual forma en el día 8 y 12 de almacenamiento se mostró diferencia significativa entre tratamientos donde la acidez osciló entre (0.73 a 1.18) y (0.38 a 0.10) (g ácido cítrico / 100 g) respectivamente, las fresas con recubrimiento de almidón nativo y modificado de papa y chuño mostraron menor disminución de la acidez durante el periodo de almacenamiento.

Durante el almacenamiento la acidez disminuye y se relaciona con la temperatura de almacenamiento, duración, humedad relativa, fisiología y condiciones de luz (Yan *et al.*, 2019). Se reportan cambios en la acidez en fresas que fueron aplicados con recubrimientos con valores en el día 0 de (0.9 g ácido cítrico/100g) en comparación al día 14 de almacenamiento donde oscilan entre (0.8 a 1.2 g ácido cítrico/100g) (Zhang *et al.*, 2022). La acidez de fresas con y sin recubrimiento almacenadas a 5°C disminuyó de 0.3 a 0.18 y 0.2 por ciento en 5 y 8 días de almacenamiento, a diferencia de 20°C observándose 0.18 y 0.19 por ciento (Muley & Singhal, 2020).



**Figura 51. Acidez en fresas con y sin recubrimiento.**

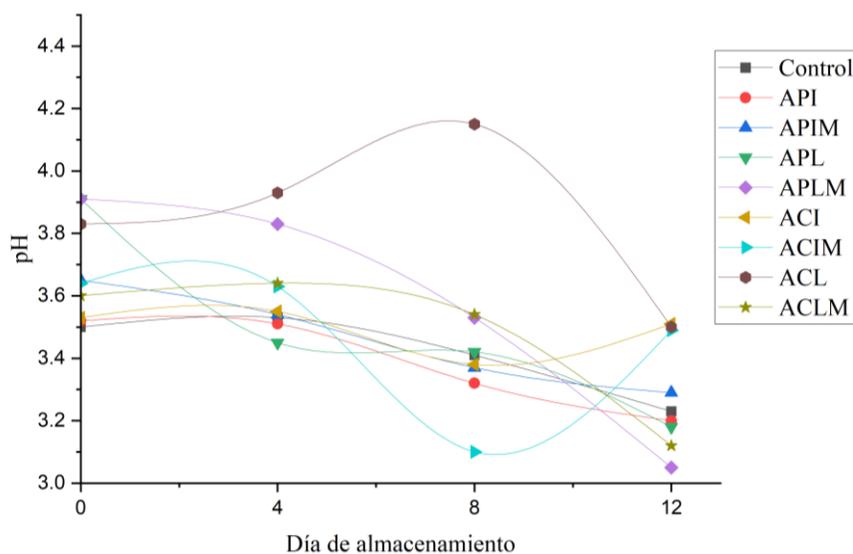
Durante el almacenamiento postcosecha de fresas los ácidos orgánicos como ácido cítrico, el ácido málico y el ácido ascórbico (vitamina C) pueden disminuir a causa del proceso de respiración aeróbica propia de las células, en este sentido las fresas adquieren más dulzor (Drobek *et al.*, 2020); en relación a la información anterior, se afirma que el almacenamiento

prolongado de fresas luego de la cosecha puede aumentar el dulzor de este tipo de fruto a causa de la disminución de los compuestos ácidos (Kim *et al.*, 2023).

- pH

En la Figura 52 se observa el pH en fresas con y sin recubrimiento durante el periodo de almacenamiento de 12 días a una temperatura de refrigeración de 5°C.

Según el análisis de varianza para el pH en fresas con y sin recubrimiento almacenadas en refrigeración 5°C durante 12 días se observa que en el día 0 de almacenamiento si existió diferencia significativa entre tratamientos donde el pH osciló entre 3.50 a 3.91, en el día 4 almacenamiento también se mostró diferencia significativa entre tratamientos donde el pH osciló entre 3.45 a 3.93, de igual forma en el día 8 y 12 de almacenamiento se mostró diferencia significativa entre tratamientos donde el pH osciló entre (3.10 a 4.15) y (3.05 a 3.50) respectivamente, las fresas con recubrimiento de almidón nativo y modificado de papa y chuño experimentaron incremento y disminución de pH durante el periodo de almacenamiento.



**Figura 52. pH en fresas con y sin recubrimiento.**

Se reportan cambios en el pH en fresas que fueron aplicados con recubrimientos con valores en el día 0 que oscilan entre 3.4 a 3.7 en comparación al día 14 de almacenamiento donde todos los tratamientos tuvieron una pH de 3.6, las fresas sin recubrimiento siguen

experimentando cambios químicos a diferencias de fresas con recubrimiento donde se disminuye su metabolismo (Zhang *et al.*, 2022).

El pH de las fresas oscila entre 3.0 a 3.7 según la variedad (Campos-Requena *et al.*, 2017; Perdonés *et al.*, 2012). Se observó que el pH de las fresas aumentó gradualmente durante el período de almacenamiento de 24 días, se reportan cambios en el pH en fresas que fueron aplicados con recubrimientos con valores en el día 0 que oscilan entre 3.18 a 3.20 en comparación al día 24 de almacenamiento donde el pH osciló entre 3.47 a 3.59 (Hang *et al.*, 2024).

#### - °Brix

En la Figura 53 se observa los °Brix en fresas con y sin recubrimiento durante el periodo de almacenamiento de 12 días a una temperatura de refrigeración de 5°C.

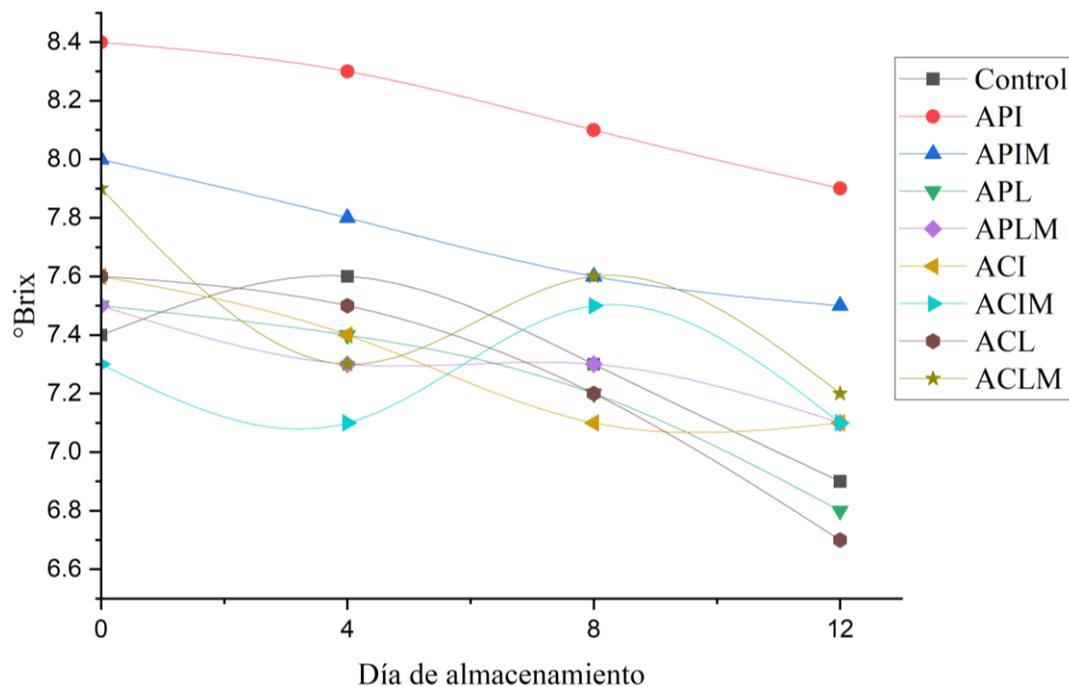
Según el análisis de varianza para los °Brix en fresas con y sin recubrimiento almacenadas en refrigeración 5°C durante 12 días se observa que en el día 0 de almacenamiento si existió diferencia significativa entre tratamientos donde los °Brix oscilaron entre 7.30 a 8.43, en el día 4 almacenamiento también se mostró diferencia significativa entre tratamientos donde los °Brix mostraron valores entre 7.13 a 8.33, de igual forma en el día 8 y 12 de almacenamiento se mostró diferencia significativa entre tratamientos donde los °Brix oscilaron entre (7.13 a 8.1) y (6.73 a 7.87) respectivamente, las fresas con recubrimiento de almidón nativo y modificado de papa y chuño experimentaron una disminución de los °Brix.

Se reportan cambios en los °Brix en fresas que fueron aplicados con recubrimientos con valores en el día 0 que oscilan entre 8.7 a 9.7 por ciento en comparación al día 14 de almacenamiento donde oscilan entre 6.7 a 8.7 por ciento (Zhang *et al.*, 2022). El contenido de °Brix en fresas con y sin recubrimiento disminuye en el almacenamiento a causa del propio metabolismo del fruto, se reportan cambios en los °Brix con valores en el día 0 que oscilan entre 11.29 a 11.51 por ciento en comparación al día 24 de almacenamiento donde oscilan entre 9.41 a 10.32 por ciento (Hang *et al.*, 2024).

**Tabla 23: Determinación de pérdida de peso, acidez, pH, °Brix de fresas con y sin recubrimiento en almacenamiento bajo refrigeración a 5°C.**

| Tiempo de almacenamiento (día) | Tratamiento | Pérdida de peso % | Acidez titulable (g ácido cítrico/100g) | pH     | °Brix |
|--------------------------------|-------------|-------------------|---|--------|-------|
| 0                              | Control     | -                 | 1.5ab                                   | 3.50d  | 7.4d  |
|                                | API         | -                 | 1.6ab                                   | 3.52d  | 8.4a  |
|                                | APIM        | -                 | 1.7a                                    | 3.65c  | 8.0b  |
|                                | APL         | -                 | 1.6ab                                   | 3.91a  | 7.5d  |
|                                | APLM        | -                 | 1.6ab                                   | 3.91a  | 7.5d  |
|                                | ACI         | -                 | 1.6ab                                   | 3.53d  | 7.6cd |
|                                | ACIM        | -                 | 1.4b                                    | 3.64c  | 7.3d  |
|                                | ACL         | -                 | 1.5ab                                   | 3.83b  | 7.6cd |
|                                | ACLM        | -                 | 1.5ab                                   | 3.60c  | 7.9bc |
| 4                              | Control     | 2.3a              | 1.1d                                    | 3.53de | 7.6c  |
|                                | API         | 2.2ab             | 1.4ab                                   | 3.51e  | 8.3a  |
|                                | APIM        | 1.9abc            | 1.4a                                    | 3.54de | 7.8b  |
|                                | APL         | 2.0abc            | 1.3b                                    | 3.45f  | 7.4de |
|                                | APLM        | 1.7c              | 1.3b                                    | 3.83b  | 7.3e  |
|                                | ACI         | 2.1abc            | 1.4ab                                   | 3.55d  | 7.4de |
|                                | ACIM        | 1.8bc             | 1.2c                                    | 3.63c  | 7.1f  |
|                                | ACL         | 2.0abc            | 1.2c                                    | 3.93a  | 7.5d  |
|                                | ACLM        | 1.8bc             | 1.3b                                    | 3.64c  | 7.3e  |
| 8                              | Control     | 8.0a              | 0.7c                                    | 3.41c  | 7.3cd |
|                                | API         | 5.6c              | 1.0ab                                   | 3.32e  | 8.1a  |
|                                | APIM        | 5.2c              | 0.9bc                                   | 3.37d  | 7.6b  |
|                                | APL         | 5.4c              | 1.0ab                                   | 3.42c  | 7.2cd |
|                                | APLM        | 5.2c              | 0.9bc                                   | 3.53b  | 7.3c  |
|                                | ACI         | 6.1b              | 1.2a                                    | 3.38cd | 7.1d  |
|                                | ACIM        | 5.1c              | 0.8c                                    | 3.10f  | 7.5b  |
|                                | ACL         | 6.5b              | 1.1a                                    | 4.15a  | 7.2cd |
|                                | ACLM        | 5.2c              | 0.7c                                    | 3.54b  | 7.6b  |
| 12                             | Control     | 9.8a              | 0.4e                                    | 3.23c  | 6.9d  |
|                                | API         | 7.3bc             | 0.8cd                                   | 3.20d  | 7.9a  |
|                                | APIM        | 6.4ef             | 0.9b                                    | 3.29b  | 7.5b  |
|                                | APL         | 8.0b              | 0.8cd                                   | 3.18d  | 6.8de |
|                                | APLM        | 7.0cde            | 0.7d                                    | 3.05f  | 7.1c  |
|                                | ACI         | 7.2bcd            | 1.0a                                    | 3.51a  | 7.1c  |
|                                | ACIM        | 6.1f              | 0.8cd                                   | 3.49b  | 7.1c  |
|                                | ACL         | 7.7bc             | 0.9bc                                   | 3.50a  | 6.7e  |
|                                | ACLM        | 6.5def            | 0.9b                                    | 3.12e  | 7.2c  |

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas respecto al día de almacenamiento, según LSD de Fisher ( $p < 0.05$ ).



**Figura 53. °Brix en fresas con y sin recubrimiento.**

Se reportan cambios de 5.3 a 13.5 por ciento en fresas (Gol *et al.*, 2013; Shankar *et al.*, 2021; Velickova *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2019). La respiración de las fresas podría influir en el contenido de °Brix durante el periodo de almacenamiento (Velickova *et al.*, 2013). Especialmente, la sacarosa es una fuente de dulzor muy importante de las frutas, los niveles de sacarosa en las fresas tienden a disminuir a medida que incrementa el almacenamiento, en este sentido se observa una disminución de la actividad metabólica que degrada la sacarosa, por la acción de enzimas como la invertasa ácida o sacarosa sintasa (Liu *et al.*, 2018).

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

- La elaboración de chuño a partir de las variedades de papa Imilla Negra y Locka presentó diferencias significativas en sus propiedades fisicoquímicas y rendimiento.
- El rendimiento de extracción de almidón en las variedades de papa Imilla Negra y Locka mostró diferencias significativas, respecto al rendimiento de extracción de almidón de chuño elaborado a partir de las variedades de papa Imilla Negra y Locka presentaron menor rendimiento a comparación de otras investigaciones; el método de extracción de almidón y la pérdida de este polisacárido en la etapa de descongelación pueden afectar dicho rendimiento.
- Los parámetros de color de los almidones nativos y modificados de papa y chuño variedad Imilla Negra y Locka mostraron diferencias significativas; la luminosidad de los almidones nativos y modificados de papa presentaron valores mayores a comparación de los almidones nativos y modificados chuño que mostraron valores menores de luminosidad consecuencia de la deshidratación.
- Los almidones nativos y modificados de papa y chuño presentaron propiedades fisicoquímicas significativamente diferentes. Los bajos niveles de humedad aseguran un buen almacenamiento. El contenido de cenizas, grasa, fibra y carbohidratos fue menor al 1% en todos los almidones.

- La modificación por acetilación incrementó el contenido de amilosa en la mayoría de los tratamientos. Las temperaturas de gelatinización mostraron valores característicos de almidones nativos y modificados, con temperaturas iniciales de 56.66 a 61.67°C, pico de 60.40 a 64.96°C, finales de 69.08 a 75.86°C y entalpías de gelatinización de 1.20 a 5.99 J/g. Estos valores se deben a la desorganización y daño en la estructura de los almidones nativos. Los almidones presentaron comportamiento de flujo no-Newtoniano de naturaleza pseudoplástica. Los almidones de papa Imilla Negra y Locka, tanto nativos como modificados, mostraron un esfuerzo cortante significativamente mayor que los almidones de chuño. En cuanto a los parámetros reológicos de la ecuación de Herschel-Bulkley, la modificación por acetilación aumentó o disminuyó dichos parámetros en comparación con sus homólogos nativos.
- La mayoría de los recubrimientos comestibles proporcionaron una barrera contra los gases al ser aplicados a las fresas, las fresas con recubrimiento comestible mostraron una menor disminución de la pérdida de peso en comparación con la muestra control en el día 12 de almacenamiento, la acidez, pH y °Brix fueron disminuyendo progresivamente.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- En el proceso para elaboración de chuño optar por la aplicación distintos tiempos y temperaturas de congelación y secado para evaluar el efecto en sus propiedades fisicoquímicas del chuño.
- Utilizar otros métodos de extracción de almidón que puedan aumentar el rendimiento.
- Realizar la caracterización de los recubrimientos comestibles en base al análisis microestructural, propiedades mecánicas y propiedades reológicas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdalla, G., Mussagy, C. U., Pegorin, G. S., Scontri, M., Da Silva Sasaki, J. C., Su, Y., ... Donizetti, R. (2023). Eco-sustainable coatings based on chitosan, pectin, and lemon essential oil nanoemulsion and their effect on strawberry preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 249, 126016. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126016>
- Absar, N., Zaidul, I. S. M., Takigawa, S., Hashimoto, N., Matsuura-Endo, C., Yamauchi, H., & Noda, T. (2009). Enzymatic hydrolysis of potato starches containing different amounts of phosphorus. *Food Chemistry*, 112(1), 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.045>
- Agama-Acevedo, E., Bello-Pérez, L. A., Pacheco-Vargas, G., & Evangelista-Lozano, S. (2015). Estructura interna de los granulos de almidón de platano mediante gelatinización química superficial: propiedades morfológicas, fisicoquímicas y moleculares. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*.
- Aguilar, D. (2016). Análisis químico del almidón de papa para la obtención de papel higiénico. *Ingenium*, 01(02). <https://doi.org/10.18259/ing.2016010>
- Ai, Y., & Jane, J. (2018). Understanding Starch Structure and Functionality. In *Starch in Food* (pp. 151–178). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100868-3.00003-2>
- Allca, V., & Sierra, J. (2022). Isotherma de adsorción, propiedades funcionales y vida útil de la harina de chuño blanco de papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*) proveniente de la Comunidad de Mollocco – Antabamba. *Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímcas*.
- Almenar, E. (2005). Envasado activo de fresas silvestres. *Tesis Dr. Valencia, ES. Universidad de Valencia*.
- Alvani, K., Qi, X., & Tester, R. F. (2011). Gelatinisation properties of native and annealed potato starches. *Starch - Stärke*, 64(4), 297–303. <https://doi.org/10.1002/star.201100130>

- Alvis, A., Vélez, C. A., Villada, H. S., & Rada-Mendoza, M. (2008). Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas. *Información Tecnológica*, 19(1). <https://doi.org/10.4067/S0718-07642008000100004>
- Álzate Carvajal, E. N., Quintero Castaño, V. D., & Lucas Aguirre, J. C. (2013). Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto (*erytina edulis triana ex micheli*). *Temas Agrarios*, 18(2), 21. <https://doi.org/10.21897/rta.v18i2.714>
- Álzate, E., Quintero, V. D., & Lucas, J. C. (2013). Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto (*erytina edulis triana ex micheli*). *Temas Agrarios*, 18(2), 21–35. <https://doi.org/10.21897/rta.v18i2.714>
- Amini, A., Seyed, A. R., & Seyed, M. (2015). Morphological, physicochemical, and viscoelastic properties of sonicated corn starch. *Carbohydrate Polymers*, 122, 282–292. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.01.020>
- Ancco, S. (2022). Efecto de recubrimientos comestibles a base de mucílago extraído de penca de tuna con quitosano en la conservación de arándanos (*Vaccinium corymbosum*). *Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac*, 1–155. Retrieved from [https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1177/T\\_811.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1177/T_811.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ando, Y., Hagiwara, S., Nabetani, H., Sotome, I., Okunishi, T., Okadome, H., ... Tagawa, A. (2019). Effects of prefreezing on the drying characteristics, structural formation and mechanical properties of microwave-vacuum dried apple. *Journal of Food Engineering*, 244, 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.09.026>
- Andre, C. M., Legay, S., Iammarino, C., Ziebel, J., Guignard, C., Larondelle, Y., ... Miranda, L. M. (2014). The Potato in the Human Diet: a Complex Matrix with Potential Health Benefits. *Potato Research*, 57(3–4), 201–214. <https://doi.org/10.1007/s11540-015-9287-3>

- A.O.A.C. (2005). Association of Official Analytical Chemist, US. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemis.*
- Arcila, P., Giraldo, G., Celis, F., & Duarte, J. (2002). Cambios físicos y químicos durante la maduración del plátano dominico-hartón (Musa AAB Simmonds) en la región cafetera central colombiana. *Medellín: Asociación de Bananeros de Colombia AUGURA*, 455–463. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12324/16753>
- Aristizábal, J., & Sánchez, T. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO)*.
- Ashogbon, A. O., Akintayo, E. T., Oladebeye, A. O., Oluwafemi, A. D., Akinsola, A. F., & Imanah, O. E. (2021). Developments in the isolation, composition, and physicochemical properties of legume starches. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(17), 2938–2959. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1791048>
- Ashworth, E. N. (1992). Formation and Spread of Ice in Plant Tissues. In *Horticultural Reviews* (pp. 215–255). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470650509.ch6>
- ASTM. (1995). Standard test methods for water vapor transmission of materials (E96-95). En Annual book of ASTM standards. *Philadelphia: American Society for Testing and Materials*, 697–704. Retrieved from <https://codehub.building.govt.nz/resources/astm-e96-95>
- Augusto, P. E. D., Cristianini, M., & Ibarz, A. (2012). Effect of temperature on dynamic and steady-state shear rheological properties of siriguela (*Spondias purpurea* L.) pulp. *Journal of Food Engineering*, 108(2), 283–289. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.08.015>
- Baldwin, E. A., Nisperos-Carriedo, M. O., & Baker, R. A. (1995). Edible Coatings for Lightly Processed Fruits and Vegetables. *HortScience*, 30(1), 35–38. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.30.1.35>
- Baltes, W. (2007). Química de los alimentos. *Zaragoza, ES, Acribia*, 476.

- Baraona, M., & Sancho, E. (1992). Fruticultura especial: manzana, melocotón, fresa y mora. *Costa Rica. Editorial Universidad Nacional a Distancia*, 145.
- Barrera, V., Tapia, C., & Monteros, A. (2004). Raíces y tubérculos andinos: alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. *Quito, EC, INIAP*, 176.
- Beléndez, A. (2017). Aplicación de diferentes recubrimientos comestibles para la conservación postcosecha de manzana. *Http://Hdl.Handle.Net/10251/89624*, 1–19.
- Bello-Pérez, L. A., Rodríguez-Ambriz, S. L., Sanchez-Rivera, M. M., & Agama-Acevedo, E. (2009). Starch macromolecular structure. *Starches. Characterization, Properties, and Applications*, 33–58.
- Bemiller, J., & Wistler, R. (2009). *Starch: Chemistry and Technology*. 3ed. Burlington, US, Editorial Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-02983-3>
- Bertram, H. C., Andersen, R. H., & Andersen, H. J. (2007). Development in myofibrillar water distribution of two pork qualities during 10-month freezer storage. *Meat Science*, 75(1), 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.06.020>
- Betancur, A. D., Chel, G. L., & Cañizares, H. E. (1997). Acetylation and characterization of *Canavalia ensiformis* starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(2), 378–382. <https://doi.org/10.1021/jf960272e>
- Blennow, A., Wischmann, B., Houborg, K., Ahmt, T., Jørgensen, K., Engelsen, S. B., ... Poulsen, P. (2005). Structure function relationships of transgenic starches with engineered phosphate substitution and starch branching. *International Journal of Biological Macromolecules*, 36(3), 159–168. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2005.05.006>
- Bonierbale, M., Amoros, W., Mihovilovich, E., & Gomez, R. (2004). Recursos Genéticos de la papa: don del pasado, legado para el futuro. *Suplemento Revista Latinoamericana de La Papa*, 63, 1–12.

- Bordoloi, A., Kaur, L., & Singh, J. (2012). Parenchyma cell microstructure and textural characteristics of raw and cooked potatoes. *Food Chemistry*, *133*(4), 1092–1100. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.044>
- Bortnowska, G., Balejko, J., Schube, V., Tokarczyk, G., Krzemińska, N., & Mojka, K. (2014). Stability and physicochemical properties of model salad dressings prepared with pregelatinized potato starch. *Carbohydrate Polymers*, *111*, 624–632. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.05.015>
- Boudries, N., Belhaneche, N., Nadjemi, B., Deroanne, C., Mathlouthi, M., Roger, B., & Sindic, M. (2009). Physicochemical and functional properties of starches from sorghum cultivated in the Sahara of Algeria. *Carbohydrate Polymers*, *78*(3), 475–480. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.05.010>
- Brazanti, E. (1989). La Fresa. *Mundi Prensa*, (Madrid), 386 p.
- Brito, A. (2009). Control de podredumbres y calidad poscosecha de limones tratados con recubrimientos naturales. *Tesis de Master. Universidad Politécnica de Valencia. España.*
- Bronfenbrener, L., & Rabeea, M. A. (2015). Kinetic approach to modeling the freezing porous media: Application to the food freezing. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, *87*, 110–123. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2014.11.008>
- Brummer, R. (2006). Rheology essentials of cosmetic and food emulsions. *Alemania, Springer.*
- Burgos, G., Haan, S., Salas, E., & Bonierbale, M. (2009). Protein, iron, zinc, calcium concentrations of potatoes following traditional processing as “chuño.” *Journal of Food Composition and Analysis*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.09.001>
- Cahuana, Q., & Arcos, P. (2002). Variedades nativas y mejoradas de papa en Puno. *INIA*. Retrieved from [https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/898/1/Cahuana-Variedades\\_nativas\\_Papa.pdf](https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/898/1/Cahuana-Variedades_nativas_Papa.pdf)

- Campos-Requena, V. H., Rivas, B. L., Pérez, M. A., Figueroa, C. R., Figueroa, N. E., & Sanfuentes, E. A. (2017). Thermoplastic starch/clay nanocomposites loaded with essential oil constituents as packaging for strawberries – In vivo antimicrobial synergy over *Botrytis cinerea*. *Postharvest Biology and Technology*, *129*, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.03.005>
- Cano, A., Jiménez, A., Cháfer, M., González, C., & Chiralt, A. (2014). Effect of amylose:amylopectin ratio and rice bran addition on starch films properties. *Carbohydrate Polymers*, *111*, 543–555. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.04.075>
- Cardenas, L. (2018). Niveles de glicoalcaloides durante la elaboración del chuño negro a partir de la papa amarga *Solanum juzepczukii* y *Solanum curtilobum*. (*Tesis de Ingeniería*). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú. Retrieved from <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6564>
- Castelló, M. L., Fito, P. J., & Chiralt, A. (2006). Effect of osmotic dehydration and vacuum impregnation on respiration rate of cut strawberries. *LWT - Food Science and Technology*, *39*(10), 1171–1179. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.07.001>
- Ceron, A., Bucheli, M., & Osorio, O. (2014). Elaboración de galletas a base de harina de papa de la variedad Parda Pastusa (*Solanum tuberosum*). *Acta Agronómica*, *63*, 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.39575>
- Cerqueira, M., Lima, A. M., Teixeira, J., Moreira, R. A., & Vicente, A. A. (2009). Suitability of novel galactomannans as edible coatings for tropical fruits. *Journal of Food Engineering*, *94*, 372–378. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.04.003>
- Chassagne-Berces, S., Fonseca, F., Citeau, M., & Marin, M. (2010). Freezing protocol effect on quality properties of fruit tissue according to the fruit, the variety and the stage of maturity. *LWT - Food Science and Technology*, *43*(9), 1441–1449. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.04.004>

- Chen, C., Kuo, W., & Lai, L. (2009). Effect of surfactants on water barrier and physical properties of tapioca starch/decolorized hsian-tsoa leaf gum films. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 714–721. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.06.006>
- Chen, W., Zhou, H., Yang, H., & Cui, M. (2015). Effects of charge-carrying amino acids on the gelatinization and retrogradation properties of potato starch. *Food Chemistry*, 167, 180–184. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.089>
- Chettri, S., Sharma, N., & Mohite, A. M. (2023). Edible coatings and films for shelf-life extension of fruit and vegetables. *Biomaterials Advances*, 154, 213632. <https://doi.org/10.1016/j.bioadv.2023.213632>
- Chilon, F. J., & Mamani, R. (2019). Caracterización de las propiedades tecnofuncionales del almidón total y cuantificación del almidón resistente de tunta y chuño. *Tesis, Universidad Peruana Unión*, 143. Retrieved from <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1773>
- Christiansen, J. (1967). El cultivo de la papa en el Perú. *Lima (Peru): Ed. Juridica*, 351.
- Christiansen, J., & Thompson, N. (1971). The Utilization of “Bitter” Potatoes in the cold tropics of Latin America. *The International Society for Tropical Root Crops*, 212–221. Retrieved from <https://hdl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/19106/IDL-19106.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chung, H., Li, X., Kalinga, D., Lim, S., Yada, R., & Liu, Q. (2014). Physicochemical properties of dry matter and isolated starch from potatoes grown in different locations in Canada. *Food Research International*, 57, 89–94. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.034>
- CIP. (2006). Catálogo de variedades de papa nativa de Huancavelica - Perú. *Lima, Perú: Federación Departamental de Comunidades Campesinas (FEDECH)*. Retrieved from <https://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/08/003524.pdf>

- Colla, E., Sobral, P., & Menegalli, F. (2006). Effect of composite edible coating from *Amaranthus cruentus* flour and stearic acid on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *Latin American Applied Research*, 36, 249–254. Retrieved from [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0327-07932006000400007&lng=es&tlng=en](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0327-07932006000400007&lng=es&tlng=en).
- Collazos, C., White, P., White, H., Viñas, E., Alvistur, E., Urquieta, R., ... Bradfield, R. (1996). *La composición de los alimentos peruanos. 7 ed. Lima*(Perú).
- Colonna, P. (2010). Characterization, Properties, and Applications. *Thermal Transitions of Starches*, 71–102.
- Cooke, D., & Gidley, M. J. (1992). Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinisation: origin of the enthalpic transition. *Carbohydrate Research*, 227, 103–112. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0008-6215\(92\)85063-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0008-6215(92)85063-6)
- Coral, D. (2007). Caracterización térmica de biopolímeros derivados del maíz: almidón. *Universidad Nacional de Colombia*.
- Córdova, V. (2014). Estudio de los aportes funcionales de la papa (*Solanum tuberosum*) y desarrollo de los productos alimenticios. *Universidad de Las Américas. Chile*. Retrieved from <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2793245>
- Crowe, T. C., Seligman, S. A., & Copeland, L. (2000). Inhibition of Enzymic Digestion of Amylose by Free Fatty Acids In Vitro Contributes to Resistant Starch Formation. *The Journal of Nutrition*, 130(8), 2006–2008. <https://doi.org/10.1093/jn/130.8.2006>
- Cruz, I., & Sarango, C. H. (2017). Aplicación de recubrimiento comestible a base de mucílago de linaza y propóleo para prolongar el tiempo de vida útil del mango kent (*Mangifera Indica* l.). Lambayeque – 2015. *Universidad Señor de Sipán*, 1–92. Retrieved from <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/6306/Cruz%20Ninaquispe%20%26%20Sarango%20Cordova.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Cruz-Tirado, J. P., Vejarano, R., Tapia-Blácido, D. R., Barraza-Jáuregui, G., & Siche, R. (2019). Biodegradable foam tray based on starches isolated from different Peruvian species. *International Journal of Biological Macromolecules*, *125*, 800–807. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.111>
- Cuba, A. (2021). Caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de papa y tunta de tres variedades nativas amargas procedentes de Ilave-Puno. *Universidad Nacional Agraria La Molina: Perú*.
- Cui, S. (2005). Food carbohydrates: chemistry, physical properties, and applications. *Florida, US, Editorial CRC Press*, 410.
- Da Rosa, E., Zanella, V., Klein, B., Mello, S. L., Cardoso, M., Prentice-Hernández, C., & Guerra, A. (2012). Development of oxidised and heat–moisture treated potato starch film. *Food Chemistry*, *132*(1), 344–350. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.090>
- Datta, A. K. (2007a). Porous media approaches to studying simultaneous heat and mass transfer in food processes. I: Problem formulations. *Journal of Food Engineering*, *80*(1), 80–95. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.05.013>
- Datta, A. K. (2007b). Porous media approaches to studying simultaneous heat and mass transfer in food processes. II: Property data and representative results. *Journal of Food Engineering*, *80*(1), 96–110. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.05.012>
- De Haan, S., Burgos, G., Arcos, J., Ccanto, R., Scurrah, M., Salas, E., & Bonierbale, M. (2010). Traditional Processing of Black and White Chuño in the Peruvian Andes: Regional Variants and Effect on the Mineral Content of Native Potato Cultivars. *Economic Botany*, *64*(3), 217–234. <https://doi.org/10.1007/s12231-010-9128-x>
- DeEll, J. R., Ayres, J. T., & Murr, D. P. (2007). 1-Methylcyclopropene Influences ‘Empire’ and ‘Delicious’ Apple Quality during Long-term Commercial Storage. *HortTechnology*, *17*(1), 46–51. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.17.1.46>

- Delgado, A. E., & Sun, D. (2001). Heat and mass transfer models for predicting freezing processes – a review. *Journal of Food Engineering*, 47(3), 157–174. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00112-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00112-6)
- Dhumal, C. V., Pal, K., & Sarkar, P. (2019). Characterization of Tri-Phasic Edible Films from Chitosan, Guar Gum, and Whey Protein Isolate Loaded with Plant-Based Antimicrobial Compounds. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 58(3), 255–269. <https://doi.org/10.1080/03602559.2018.1466179>
- Do Lago, R. C., Maurício, E. Z., De Oliveira, A. L. M., De Abreu, D. J. M., Nunes, E. E., Hilsdorf, R., ... De Barros Vilas Boas, E. V. (2023). Effect of coating with co-product-based bionanocomposites on the quality of strawberries under refrigerated storage. *Scientia Horticulturae*, 309, 111668. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111668>
- Domene-López, D., Delgado-Marín, J. J., Martín-Gullón, I., García-Quesada, J. C., & Montalbán, M. G. (2019). Comparative study on properties of starch films obtained from potato, corn and wheat using 1-ethyl-3-methylimidazolium acetate as plasticizer. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 845–854. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.004>
- Drobek, M., Frac, M., Zdunek, A., & Cybulska, J. (2020). The Effect of Cultivation Method of Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. Honeoye on Structure and Degradation Dynamics of Pectin during Cold Storage. *Molecules*, 25(18), 4325. <https://doi.org/10.3390/molecules25184325>
- Eliasson, A. C., Finstand, H., & Ljunger, G. (1988). A study of starch lipid interactions of some native and modified maize starches. *Starch/Stärke*, 40, 95–100.
- Elliason, A. (2006). Carbohydrates in food. 2 ed. *New York, US, Taylor&Francis Group*, 546. Retrieved from <https://ttnngmai.files.wordpress.com/2012/10/carbohydratesinfood2ndedition.pdf>
- Escobar, A., & Verela, J. (2008). Aprovechamiento de la harina de papa criolla (*Solanum phureja*) como sustituto parcial de la sémola de trigo en la formulación y elaboración de una pasta alimenticia tipo Spaghetti. *Universidad de La Salle, Bogotá*.

- Espinoza, M. (2009). Estudio de Pre-Factibilidad para la exportación de fresa congelada al mercado de Estados Unidos. *Tesis Ing. Ind. Lima*, (Lima, Perú). Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5709>
- Espinoza, R. (2012). Relación entre el contenido de fósforo y algunas propiedades térmicas y reológicas en almidón de papa nativa de Chiloé (tesis de pregrado). *Universidad Austral de Chile, Chile*.
- Falade, K. O., & Christopher, A. S. (2015). Physical, functional, pasting and thermal properties of flours and starches of six Nigerian rice cultivars. *Food Hydrocolloids*, *44*, 478–490. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.10.005>
- Fatemesh, H., & Abdorreza, N. (2014). Preparation and characterization of bionanocomposite films based on potato starch/halloysite nanoclay. *International Journal of Biological Macromolecules*, *67*, 458–462. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.04.009>
- Figuroa, M. (2009). Strategies to develop market Access in the Bolivian highlands: two case studies for chuño and tunta (tesis de maestría). *Universidad de Missouri, Colombia*.
- Fonseca, C., & Ordinola, M. (2017). Promoting innovations in the peruvian altiplano the case of tunta, an ancestral product. *International Society for Tropical Root Crops (ISTRIC)*, 58–64.
- Forsyth, J. L., Ring, S. G., Noel, T. R., Parker, R., Cairns, P., Findlay, K., & Shewry, P. R. (2002). Characterization of Starch from Tubers of Yam Bean (*Pachyrhizus ahipa*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*(2), 361–367. <https://doi.org/10.1021/jf0108922>
- Friedman, M. (2006). Potato Glycoalkaloids and Metabolites: Roles in the Plant and in the Diet. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*(23), 8655–8681. <https://doi.org/10.1021/jf061471t>

- Fu, Z., Luo, S., BeMiller, J. N., Liu, W., & Liu, C. (2015). Effect of high-speed jet on flow behavior, retrogradation, and molecular weight of rice starch. *Carbohydrate Polymers*, *133*, 61–66. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.07.006>
- Gabriel, J., Botello, R., Casazola, J. L., Vera, R., Rodríguez, F., & Angulo, A. (2014). Revalorización de las papas nativas de Bolivia (*Solanum tuberosum* L.) como fuente de hierro y zinc. *Selva Andina Reseach Society*.
- Gallagher, P., Brown, M., & Kemp, R. (1999). Handbook of thermal analysis and calorimetry. *Amsterdam, NL, Elsevier*, *1*, 691.
- García, R., & Satander, O. (2011). *Manual técnicas de manejo, selección y clasificación de papas nativas*.
- Garnica, A., Contreras, L., Romero, A., & Del Socorro, M. (2010). Características funcionales de almidones nativos extraídos de clones promisorios de papa (*Solanum tuberosum* L. subespecie andigena) para la industria de alimentos. *Alimentos Hoy*, *19*(21), 3–15.
- Gichuhi, P. N., Kokoasse, K., & Bovell-Benjamin, A. C. (2014). Nutritional and physical properties of organic Beaugard sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) as influenced by broiler litter application rate. *Food Science & Nutrition*, *2*(4), 332–340. <https://doi.org/10.1002/fsn3.108>
- Gol, N. B., Patel, P. R., & Rao, T. V. R. (2013). Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. *Postharvest Biology and Technology*, *85*, 185–195. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.06.008>
- Goldstein, P. S. (2003). From Stew - Eaters to Maize - Drinkers. In *The Archaeology and Politics of Food and Feasting in Early States and Empires* (pp. 143–172). Boston, MA: Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-0-306-48246-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-0-306-48246-5_6)
- Goñi, I., García-Diz, L., Mañas, E., & Saura-Calixto, F. (1996). Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chemistry*, *56*(4), 445–449. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)00222-7](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)00222-7)

- Gonzales, L., Parra, R. A., & Pimentel, D. J. (2012). Efecto de la temperatura y pH en la velocidad de precipitación y extracción de almidón de papa criolla (*Solanum phureja*). *Ciencia En Desarrollo*.
- Grommers, H. E., & Van Der Krogt, D. A. (2009). Potato Starch. In *Starch* (pp. 511–539). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00011-2>
- Guerreiro, A. C., Gago, C. M. L., Faleiro, M. L., Miguel, M. G. C., & Antunes, M. D. C. (2015). The use of polysaccharide-based edible coatings enriched with essential oils to improve shelf-life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, *110*, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.06.019>
- Guilbert, S. (1986). *Technology and application of edible protective films*.
- Guo, Z., Zeng, S., Zhang, Y., Lu, X., Tian, Y., & Zheng, B. (2015). The effects of ultra-high pressure on the structural, rheological and retrogradation properties of lotus seed starch. *Food Hydrocolloids*, *44*, 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.09.014>
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2018). *Análisis y diseño de experimentos* (2da ed.). MC Graw Hill. Retrieved from [https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis\\_y\\_diseno\\_experimentos.pdf](https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf)
- Haan, S., Burgos, G., Arcos, J., Ccanto, R., Scurrah, M., Salas, E., & Bonierbale, M. (2009). The effect of process and environment on the nutritional value of Chuño. *International Society for Tropical Root Crops*, 7–23. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/316350208\\_The\\_effect\\_of\\_process\\_and\\_environment\\_on\\_the\\_nutritional\\_value\\_of\\_chuno](https://www.researchgate.net/publication/316350208_The_effect_of_process_and_environment_on_the_nutritional_value_of_chuno)
- Han, C., Zhao, Y., Leonard, S. W., & Traber, M. G. (2004). Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria × ananassa*) and raspberries (*Rubus ideaus*). *Postharvest Biology and Technology*, *33*(1), 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.01.008>

- Han, J. H. (2014). Edible Films and Coatings. In *Innovations in Food Packaging* (pp. 213–255). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00009-6>
- Hang, N., Thi, T., Ngwane F., Tanaka, F., & Tanaka, F. (2024). Preservation of strawberries using chitosan incorporated with lemongrass essential oil: An X-ray computed tomography analysis of the internal structure and quality parameters. *Journal of Food Engineering*, *361*, 111737. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111737>
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, *28*(3), 718–726. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
- Hidalgo, A., & Micho, N. (2016). Modificación química de almidón nativo de maca (*Lepidium Peruvianum*) en sus características. *Universidad Nacional Del Centro Del Perú, Tarma, Perú*. Retrieved from <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/4767>
- Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate Polymers*, *45*(3), 253–267. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00260-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00260-5)
- Hoover, R., & Ratnayake, W. (2001). Determination of total amylose content of starch. From Current protocols in food analytical chemistry. *Chichester, UK, Editorial John Wiley & Sons*.
- Hoover, R., & Sosulski, F. (1985). A comparative study of the effect of acetylation on starches of *Phaseolus vulgaris* biotypes. *Starch/Stärke*, *12*, 397–404.
- Hoover, R., & Vasanthan, T. (1994). Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of cereal, legume, and tuber starches. *Carbohydrate Research*, *252*, 33–53. [https://doi.org/10.1016/0008-6215\(94\)90004-3](https://doi.org/10.1016/0008-6215(94)90004-3)
- Horkheimer, H. (2004). Alimentación y obtención de Alimentos en el Perú prehispanico. *Lima, Perú: Instituto Nacional de Cultura INC*.

- Horwitz, V. (1980). Métodos de análisis oficiales y tentativos de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales. *Washington DC, Estados Unidos: Asoc. Química.*, 314–320.
- INIA. (2009). Caracterización morfológica y agronómica de 61 variedades nativas de papa. *Instituto Nacional de Innovación Agraria*. Retrieved from [https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/958/1/Palomino-Caracterizaci% c3% b3n\\_morfologica\\_agronomica\\_61\\_variedades\\_nativas\\_papa.pdf](https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/958/1/Palomino-Caracterizaci%c3%b3n_morfologica_agronomica_61_variedades_nativas_papa.pdf)
- INIA. (2019). Sistematización de la experiencia de los subproyectos de papa financiados por el programa nacional de innovación agraria. *Instituto Nacional de Innovación Agraria*.
- INS. (1996). Peruvian tables of food composition. *Lima, Perú*.
- Jallaza, W. (2007). Estudio de la biodiversidad de la papa (*Solanum sp*) y su importancia en la transformación en chuño (tesis de pregrado). *Universidad Mayor de San Simón, Bolivia*.
- Jan, R., Saxena, D. C., & Singh, S. (2016). Pasting, thermal, morphological, rheological and structural characteristics of *Chenopodium* (*Chenopodium album*) starch. *LWT - Food Science and Technology*, 66, 267–274. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.040>
- Jane, J., Chen, Y. Y., Lee, L. F., McPherson, A. E., Wong, K. S., Radosavljevic, M., & Kasemsuwan, T. (1999). Effects of Amylopectin Branch Chain Length and Amylose Content on the Gelatinization and Pasting Properties of Starch. *Cereal Chemistry Journal*, 76(5), 629–637. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.5.629>
- Joaqui, D., & Villada, H. (2013). Propiedades ópticas y permeabilidad de vapor de agua en películas producidas a partir de almidón. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 2, 59–68. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11nspe/v11nespa07.pdf>
- Joshi, M., Aldred, P., McKnight, S., Panozzo, J. F., Kasapis, S., Adhikari, R., & Adhikari, B. (2013). Physicochemical and functional characteristics of lentil starch. *Carbohydrate Polymers*, 92(2), 1484–1496. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.10.035>

- Kamal, M. S., Islam, M. N., & Aziz, M. G. (2014). Effect of sweet potato flour of two local varieties on quality of breads. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, *11*(2), 301–306. <https://doi.org/10.3329/jbau.v11i2.19929>
- Kaur, A., Singh, N., Ezekiel, R., & Guraya, H. S. (2007). Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. *Food Chemistry*, *101*(2), 643–651. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.054>
- Kaur, L., Singh, N., & Sodhi, N. S. (2002). Some properties of potatoes and their starches II. Morphological, thermal and rheological properties of starches. *Food Chemistry*, *79*(2), 183–192. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00130-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00130-9)
- Kaya, S., & Kaya, A. (2000). Microwave drying effects on properties of whey protein isolate edible films. *Journal of Food Engineering*, *43*(2), 91–96. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00136-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00136-3)
- Kemi, O., Mu, T., Chen, J., & Deng, F. (2013). Physicochemical characterization of sweet potato starches popularly used in Chinese starch industry. *Food Hydrocolloids*, *33*(2), 169–177. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.03.005>
- Kim, D., Park, K., Choi, J. H., Lim, J., & Kim, H. (2023). Metabolomic analysis of strawberries at different maturities according to postharvest storage period. *Scientia Horticulturae*, *321*, 112283. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112283>
- Kim, H., Oh, S., Bae, J., Yeom, J., Kim, B., Kim, H., & Baik, M. (2017). Preparation and characterization of amorphous granular potato starches (AGPS) and cross - linked amorphous granular potato starches (CLAGPS). *Carbohydrate Polymers*, *178*, 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.09.020>
- Kirtil, E., Oztop, M. H., Sirijariyawat, A., Ngamchuachit, P., Barrett, D. M., & McCarthy, M. J. (2014). Effect of pectin methyl esterase (PME) and CaCl<sub>2</sub> infusion on the cell integrity of fresh-cut and frozen-thawed mangoes: An NMR relaxometry study. *Food Research International*, *66*, 409–416. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.10.006>

- Konuma, H., Rolle, R., & Boromthanasat, S. (2012). Color characteristics of sago starch as they relate to the growth environment of the sago palm (*Metroxylon sago* Robb). *Journal of Agricultural Technology*, 8(1), 273–287. Retrieved from [http://www.ijat-aatsea.com/pdf/v8\\_n1\\_12\\_January/24\\_IJAT%202012\\_8\\_1\\_\\_Hiroyuki%20konuma\\_\\_sago-FX.pdf](http://www.ijat-aatsea.com/pdf/v8_n1_12_January/24_IJAT%202012_8_1__Hiroyuki%20konuma__sago-FX.pdf)
- Koteswara, C., Haripriya, S., Noor, A., & Suriya, M. (2014). Preparation and characterization of resistant starch III from elephant foot yam (*Amorphophallus paeonifolius*) starch. *Food Chemistry*, 155, 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.023>
- Laboratorio de Bioquímica Nutricional, M. de P. S. y S. P. (1984). Bolivian tables of food composition. *La Paz, Bolivia*.
- Larrauri, J. A., & Saura, F. (2000). Evaluation of CIE-lab colour parameters during the clarification of a sugar syrup from Mesquite pods (*Prosopis Pallida* L.). *International Journal of Food Science & Technology*, 35(4), 385–389. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2000.00394.x>
- Lawal, M. V., Odeniyi, M. A., & Itiola, O. A. (2015). Material and rheological properties of native, acetylated, and pregelatinized forms of corn, cassava, and sweet potato starches. *Starch - Stärke*, 67(11–12), 964–975. <https://doi.org/10.1002/star.201500044>
- Lertwanawatana, P., Frazier, R. A., & Niranjana, K. (2015). High pressure intensification of cassava resistant starch (RS3) yields. *Food Chemistry*, 181, 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.005>
- Li, D., Zhu, Z., & Sun, D. (2018). Effects of freezing on cell structure of fresh cellular food materials: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.02.019>
- Lima, A. M., Cerqueira, M. A., Souza, B. W. S., Santos, E. C. M., Teixeira, J. A., Moreira, R. A., & Vicente, A. A. (2010). New edible coatings composed of galactomannans and collagen blends to improve the postharvest quality of fruits – Influence on fruits gas transfer rate. *Journal of Food Engineering*, 97(1), 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.09.021>

- Lipa, Y., & Maquera, M. (2013). Hidrólisis enzimática del almidón de chuño y tunta para la obtención de jarabe de glucosa. *Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Perú*. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3409>
- Liu, C., Zheng, H., Sheng, K., Liu, W., & Zheng, L. (2018). Effects of melatonin treatment on the postharvest quality of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *139*, 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.01.016>
- Liu H., Ramsden L., & Corke H. (1997). Physical properties and enzymatic digestibility of acetylated ae, wx, and normal corn starch. *Carbohydrate Polymers*, *34*, 283–289.
- Liu, H., Ramsden, L., & Corke, H. (1999). Physical Properties of Cross-linked and Acetylated Normal and Waxy Rice Starch. *Starch - Stärke*, *51*(7), 249–252. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-379X\(199907\)51:7<249::AID-STAR249>3.3.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-379X(199907)51:7<249::AID-STAR249>3.3.CO;2-F)
- Lu, Z., Donner, E., Yada, R. Y., & Liu, Q. (2016). Physicochemical properties and in vitro starch digestibility of potato starch/protein blends. *Carbohydrate Polymers*, *154*, 214–222. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.08.055>
- Luallen, T. (2018). Utilizing Starches in Product Development. In *Starch in Food* (pp. 545–579). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100868-3.00013-5>
- Mamani, H. N., & Ferreira, C. R. (2011). Mechanical and water vapor permeability properties of biodegradable films based on methylcellulose, glucomannan, pectin and gelatin. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, *31*(3), 739–746. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000300029>
- Mangaraj, S., & Goswami, T. K. (2011). Modeling of respiration rate of litchi fruit under aerobic conditions. *Food and Bioprocess Technology*, *4*(2), 272–281. <https://doi.org/10.1007/s11947-008-0145-z>

- Martínez, M., Nieto, D., Téliz, D., Rodríguez, J., Martínez, M., Vaquera, H., & Carillo, O. (2008). Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria ananassa* Duch.) de cultivares Mexicanos y Estadounidenses. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, *14*(2), 113–119.
- Martínez, P., Málaga, A., Betalleluz, I., Ibarz, A., & Velezmoro, C. (2015). Functional characterization on native starch of Peruvian native potatoes (*Solanum phureja*). *Scientia Agropecuaria*, 291–301. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.04.06>
- Martínez, P., Peña, F., Bello-Pérez, L. A., Núñez-Santiago, C., Yee-Madeira, H., & Velezmoro, C. (2019). Physicochemical, functional and morphological characterization of starches isolated from three native potatoes of the Andean region. *Food Chemistry: X*, *2*, 100030. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2019.100030>
- Martins, P. C., Gutkoski, L. C., & Martins, V. G. (2018). Impact of acid hydrolysis and esterification process in rice and potato starch properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, *120*, 959–965. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.170>
- Matignon, A., & Tecante, A. (2017). Starch retrogradation: From starch components to cereal products. *Food Hydrocolloids*, *68*, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.10.032>
- Maximov, N. A. (1914). Experimentelle und kritische Untersuchungen über das Gefrieren und Erfrieren der Pflanzen. *Jahrb Wiss*, 327–420.
- McGrane, S. J., Mainwaring, D. E., Cornell, H. J., & Rix, C. J. (2004). The Role of Hydrogen Bonding in Amylose Gelation. *Starch - Stärke*, *56*(3–4), 122–131. <https://doi.org/10.1002/star.200300242>
- McHugh T. H., Avena-Bustillos, R., & Krochta, J. M. (1993). Hydrophilic Edible Films: Modified Procedure for Water Vapor Permeability and Explanation of Thickness Effects. *Journal of Food Science*, *58*(4), 899–903. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb09387.x>

- McHugh, T. H., & Senesi, E. (2000). Apple Wraps: A Novel Method to Improve the Quality and Extend the Shelf Life of Fresh-cut Apples. *Journal of Food Science*, 65(3), 480–485. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb16032.x>
- Meaño, N., Ciartella, A. T., & Dorta, A. M. (2014). Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*dioscorea bulbifera* l.) para predecir sus posibles usos tecnológicos. *Consejo de Investigación de La Universidad de Oriente*, 26(2), 182–187.
- Melian, D. (2010). Ensayo comparativo de dos metodologías de extracción de almidón de papa usando muestras de diez variedades nativas de Chile y dos variedades comerciales. *Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile*. Retrieved from <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/fam522e/doc/fam522e.pdf>
- MINAG. (2008). *Estudio de la fresa en el Perú y el mundo*.
- Miranda, M. L., & Aguilera, J. M. (2006). Structure and Texture Properties of Fried Potato Products. *Food Reviews International*, 22(2), 173–201. <https://doi.org/10.1080/87559120600574584>
- Mirmoghtadaie, L., Kadivar, M., & Shahedi, M. (2009). Effects of cross-linking and acetylation on oat starch properties. *Food Chemistry*, 116(3), 709–713. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.019>
- Mishra, S., & Rai, T. (2006). Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food Hydrocolloids*, 20(5), 557–566. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.01.001>
- Mohammed, A., Balaji, K., Girilal, M., Kalaichelvan, P. T., & Venkatesan, R. (2009). Mycobased Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Incorporation into Sodium Alginate Films for Vegetable and Fruit Preservation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(14), 6246–6252. <https://doi.org/10.1021/jf900337h>

- Moorthy, S. N. (2002). Physicochemical and Functional Properties of Tropical Tuber Starches: A Review. *Starch - Stärke*, 54(12), 559–592. [https://doi.org/10.1002/1521-379X\(200212\)54:12<559::AID-STAR2222559>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/1521-379X(200212)54:12<559::AID-STAR2222559>3.0.CO;2-F)
- Morales-Medina, R., Del Mar, M., Guadix, E. M., & Guadix, A. (2014). Production of resistant starch by enzymatic debranching in legume flours. *Carbohydrate Polymers*, 101, 1176–1183. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.027>
- Muhammad, S., Muhammad, A., Safina, N., Sajid, A., Sajjad, H., Muhammad, A., ... Shaghef, E. (2021). Incorporation of ascorbic acid in chitosan-based edible coating improves postharvest quality and storability of strawberry fruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 189, 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.051>
- Muley, A. B., & Singhal, R. S. (2020). Extension of postharvest shelf life of strawberries (*Fragaria ananassa*) using a coating of chitosan-whey protein isolate conjugate. *Food Chemistry*, 329, 127213. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127213>
- Müller-Thurgau, H. (1886). Über das gefrieren und erfrieren der pflanzen. *Landw Jahrbucher*, 15, 435–610. Retrieved from [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=%C3%9Cber%20das%20gefrieren%20und%20erfrieren%20der%20pflanzen&publication\\_year=1880&author=H.%20M%C3%BCller-Thurgau](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=%C3%9Cber%20das%20gefrieren%20und%20erfrieren%20der%20pflanzen&publication_year=1880&author=H.%20M%C3%BCller-Thurgau)
- Navarro, M. (2009). Nuevos recubrimientos antimicrobianos para el control postcosecha de la podredumbre azul de los cítricos. *Tesis de Master. Universidad Politécnica de Valencia. España.*
- Nema, P. K., Ramayya, N., Duncan, E., & Niranjana, K. (2008). Potato glycoalkaloids: formation and strategies for mitigation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(11), 1869–1881. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3302>
- Nettles, C. (2006). Opportunities for bio-based packaging technologies to improve the quality and safety of fresh and further processed muscle foods. *Meat Science*, 74(1), 131–142. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.023>

- Noda, T., Tsuda, S., Mori, M., Takigawa, S., Matsuura-Endo, C., Kim, S., ... Yamauchi, H. (2006). Determination of the phosphorus content in potato starch using an energy-dispersive X-ray fluorescence method. *Food Chemistry*, 95(4), 632–637. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.002>
- NTP. (2007). Tubérculos Procesados. Papa Deshidratada. Tunta. Requisitos Y Definiciones. *Norma Técnica Peruana NTP 011.400*, 1–16.
- Nunes, M. (2007). Caracterización y procesamiento de kiwi y fresa cultivados por diferentes sistemas. *Tesis Dr. Santiago de Compostela, ES. USC*, 257 p.
- Nwokocha, L. M., Aviara, N. A., Senan, C., & Williams, P. A. (2009). A comparative study of some properties of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) and cocoyam (*Colocasia esculenta*, Linn) starches. *Carbohydrate Polymers*, 76(3), 362–367. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.10.034>
- Nwokocha, L. M., Aviara, N. A., Senan, C., & Williams, P. A. (2014). A comparative study of properties of starches from Irish potato (*Solanum tuberosum*) and sweet potato (*Ipomea batatas*) grown in Nigeria. *Starch - Stärke*, 66(7–8), 714–723. <https://doi.org/10.1002/star.201300237>
- Odetayo, T., Tesfay, S., & Ngobese, N. Z. (2022). Nanotechnology-enhanced edible coating application on climacteric fruits. *Food Science & Nutrition*, 10(7), 2149–2167. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2557>
- Oropeza, A. (2008). Diagnóstico de la elaboración y transformación del chuño y sus connotaciones socioculturales y económicas (tesis de pregrado). *Universidad Mayor de San Simón, Bolivia*.
- Ortega-Toro, R., Jiménez, Al., Talens, P., & Chiralt, A. (2014). Effect of the incorporation of surfactants on the physical properties of corn starch films. *Food Hydrocolloids*, 38, 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.11.011>
- Ortolá, M. D. (2020). Determinación de la tasa respiratoria de frutas. *Universitat Politècnica de València*, 1–8. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10251/145648>

- Ouattara, B., Sabato, S., & Lacroix, M. (2002). Use of gamma-irradiation technology in combination with edible coating to produce shelf-stable foods. *Radiation Physics and Chemistry*, *63*, 305–310.
- Pardo, O., Castañeda, J., & Armando, C. (2013). Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa. *Agroindustria*.
- Pastor, C. (2010). Recubrimientos comestibles a base de hidroxipropil metilcelulosa: caracterización y aplicación. *Tesis Dr. Valencia, ES. Universidad Politécnica de Valencia*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/8534>
- Peña, E. F. (2017). *Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de cinco variedades de papas nativas procedentes de Ilave (Puno)* (Universidad Nacional Agraria La Molina). Universidad Nacional Agraria La Molina. Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2655/Q02-P45-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Peñarrieta, J. M., Salluca, T., Tejeda, L., Alvarado, J. A., & Bergenstahl, B. (2011). Changes in phenolic antioxidants during chuño production (traditional Andean freeze and sun-dried potato). *Journal of Food Composition and Analysis*, *24*(4–5), 580–587. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.10.006>
- Perdones, A., Sánchez-González, L., Chiralt, A., & Vargas, M. (2012). Effect of chitosan-lemon essential oil coatings on storage-keeping quality of strawberry. *Postharvest Biology and Technology*, *70*, 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.04.002>
- Pérez, L. (2003). *Aplicación de métodos combinados para el control del desarrollo del pardeamiento enzimático en pera (variedad Blanquilla) mínimamente procesada*. (Universitat Politècnica de València). Universitat Politècnica de València, Valencia (Spain). <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/2663>
- Przetaczek-Rożnowska, I. (2017). Physicochemical properties of starches isolated from pumpkin compared with potato and corn starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, *101*, 536–542. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.092>

- Qian, S., Hu, F., Mehmood, W., Li, X., Zhang, C., & Blecker, C. (2022). The rise of thawing drip: Freezing rate effects on ice crystallization and myowater dynamics changes. *Food Chemistry*, 373, 131461. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131461>
- Quintero, V., Lucas, J., & Álzate, E. (2012). Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto. *Revista de La Facultad de Ingeniería*. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5038458.pdf>
- Quiroga, C. C. (2008). Los almidones resistentes y la salud. *Investigación & Desarrollo*, 8(1), 130–141. <https://doi.org/10.23881/idupbo.008.1-9i>
- Quispe, E. M. (2007). Estudio del proceso crioscópico y la oxidación enzimática en la *Solanum tuberosum* ssp. (papa Sany imilla) durante la elaboración de chuño. *Tesis Facultad Técnica. Universidad Mayor de San Andrés –UMSA. La Paz- Bolivia*.
- Quispe, N. (2009). *Desarrollo de un producto alimenticio por mezclas de harinas de chuño y trigo para el ayllu maiasaya muilli*. Bolivia: Universidad Mayor de San Simon.
- Raemy, A. (2003). Behavior of foods studied by thermal analysis: Introduction. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 71(1), 273–278. <https://doi.org/10.1023/A:1022299124618>
- Ramesh, Y., & Rakesh, K. (2008). Functional properties of potato flour and its role in product development. *Food – Global Science Books*, 105–112.
- Ramirez, J. (2006). *Introducción a la reología de los alimentos*. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Juan-Ramirez-Navas/publication/259620275\\_Introduccion\\_a\\_la\\_Reologia\\_de\\_Alimentos/links/556112fe08ae6f4dcc93c383/Introduccion-a-la-Reologia-de-Alimentos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Juan-Ramirez-Navas/publication/259620275_Introduccion_a_la_Reologia_de_Alimentos/links/556112fe08ae6f4dcc93c383/Introduccion-a-la-Reologia-de-Alimentos.pdf)
- Rao, M. (2014). *Rheology of fluid, semisolid and solid foods: principles and applications*. New York, US: Springer.
- Rea, J., & Vacher, J. (1992). La papa amarga. I mesa redonda: Perú - Bolivia, La Paz 7 – 8 mayo 1991. *ORSTOM*, 111.

- Restrepo, J., & Aristizábal, I. (2010). Conservación de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch cv. camarosa) mediante la aplicación de recubrimientos comestibles de gel mucilaginoso de penca sábila (*Aloe barbadensis* Miller) y cera de carnauba. *VITAE, Revista de La Facultad de Química Farmacéutica de La Universidad de Antioquía*, 17(3), 252–263.
- Reyes, M., Gomez-Sanchez, I., & Espinoza, C. (2017). *Tablas peruanas de composición de alimentos*.
- Rhim, J. (2004). Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films. *LWT - Food Science and Technology*, 37(3), 323–330. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.09.008>
- Rivas-González, M., Zamudio-Flores, P. B., & Bello-Pérez, L. A. (2009). Efecto del grado de acetilación en las características morfológicas y fisicoquímicas del almidón de plátano. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 8(3), 291–297. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/620/62016349008.pdf>
- Riveros, M. (2009). Elaboración de chuño a partir de cuatro variedades de papa bajo diferentes tratamientos de aplicación de agua. *Universidad Mayor de San Andres, Facultad de Agronomía*, 1–70. Retrieved from <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5616/Ts-1278.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Rodríguez, D. (2013). Efecto de la concentración de almidones resistentes de la papa común (*Solanum tuberosum*) y criolla (*Solanum phureja*) sobre la digestibilidad de nutrientes, energía metabolizable e integridad del tracto gastrointestinal de pollos de engorde (tesis de maestría). *Universidad Nacional de Colombia, Colombia*.
- Rodríguez, R., San, M. E., & De la Cruz, G. G. (2001). Calorimetría diferencial de barrido y rayos-x del almidón obtenido por nixtamalización fraccionada Superficies y vacío. *Superficies y Vacío. Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología*, 13, 61–65. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94201316>

- Rosalyn, D., Demczuk, B., Isidoro, C. W., Rita, M., De Freitas, R. J. S., & De Paula, A. (2007). Granules morphology and rheological behavior of green banana (*Musa cavendishii*) and corn (*Zea mays*) starch gels. *Ciência e Agrotecnologia*, *31*(5), 1443–1448. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000500026>
- Sachs, J. (1873). Grundzüge Der Pflanzen-Physiologie: Separatabdruck Des Dritten Buchs Der Dritten Auflage Des Lehrbuchs Der Botanik Engelman. *Leipzig, Germany*. Retrieved from [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Grundz%C3%BCgc%20Der%20Pflanzen-Physiologie%3A%20Separatabdruck%20Des%20Dritten%20Buchs%20Der%20Dritten%20Auflage%20Des%20Lehrbuchs%20Der%20Botanik%20Engelman&publication\\_year=1873&author=J.%20Sachs](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Grundz%C3%BCgc%20Der%20Pflanzen-Physiologie%3A%20Separatabdruck%20Des%20Dritten%20Buchs%20Der%20Dritten%20Auflage%20Des%20Lehrbuchs%20Der%20Botanik%20Engelman&publication_year=1873&author=J.%20Sachs)
- Sajilata, M. G., Singhal, R. S., & Kulkarni, P. R. (2006). Resistant Starch A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *5*(1), 1–17. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2006.tb00076.x>
- Samsalee, N., & Sothornvit, R. (2019). Development and characterization of porcine plasma protein-chitosan blended films. *Food Packaging and Shelf Life*, *22*, 100406. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100406>
- Sánchez-Sevilla, J. F., Vallarino, J. G., Osorio, S., Bombarely, A., Posé, D., Merchante, C., ... Valpuesta, V. (2017). Gene expression atlas of fruit ripening and transcriptome assembly from RNA-seq data in octoploid strawberry (*Fragaria × ananassa*). *Scientific Reports*, *7*(1), 13737. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14239-6>
- Sandhu, K. S., & Siroha, A. K. (2017). Relationships between physicochemical, thermal, rheological and in vitro digestibility properties of starches from pearl millet cultivars. *LWT - Food Science and Technology*, *83*, 213–224. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.015>

- Sandhu, K., & Singh, N. (2007). Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food Chemistry*, *101*(4), 1499–1507. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.060>
- Sasaki, N. (2012). Viscoelastic Properties of Biological Materials. In *Viscoelasticity - From Theory to Biological Applications*. InTech. <https://doi.org/10.5772/49979>
- Saucedo-Pompa, S., Rojas-Molina, R., Aguilera-Carbó, A. F., Saenz-Galindo, A., De La Garza, H., Jasso-Cantú, D., & Aguilar, C. N. (2009). Edible film based on candelilla wax to improve the shelf life and quality of avocado. *Food Research International*, *42*(4), 511–515. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.02.017>
- Schirmer, M., Hochstotter, A., Jekle, M., Arendt, E., & Becker, T. (2013). Physicochemical and morphological characterization of different starches with variable amylose/amylopectin ratio. *Food Hydrocolloids*, *32*(1), 52–63. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.11.032>
- Schirmer, M., Jekle, M., & Becker, T. (2015). Starch gelatinization and its complexity for analysis. *Starch - Stärke*, *67*(1–2), 30–41. <https://doi.org/10.1002/star.201400071>
- Shankar, S., Khodaei, D., & Lacroix, M. (2021). Effect of chitosan/essential oils/silver nanoparticles composite films packaging and gamma irradiation on shelf life of strawberries. *Food Hydrocolloids*, *117*, 106750. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106750>
- Shellhammer, T. H., & Krochta, J. M. (1997). Whey Protein Emulsion Film Performance as Affected by Lipid Type and Amount. *Journal of Food Science*, *62*(2), 390–394. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb04008.x>
- Sikora, M., Kowalski, S., Tomasik, P., & Sady, M. (2007). Rheological and sensory properties of dessert sauces thickened by starch–xanthan gum combinations. *Journal of Food Engineering*, *79*(4), 1144–1151. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.003>

- Singh, H., Sodhi, N. S., & Singh, N. (2012). Structure and Functional Properties of Acetylated Sorghum Starch. *International Journal of Food Properties*, 15(2), 312–325. <https://doi.org/10.1080/10942912.2010.483633>
- Singh, J., Colussi, R., McCarthy, O., & Kaur, L. (2016). Advances in Potato Chemistry and Technology: Potato Starch and Its Modification. *Advances in Potato Chemistry and Technology*, 195–247.
- Singh, J., & Kaur, L. (2009). *Advances in Potato Chemistry and Technology*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374349-7.X0001-3>
- Singh, J., Kaur, L., & Singh, N. (2004). Effect of Acetylation on Some Properties of Corn and Potato Starches. *Starch - Stärke*, 56(12), 586–601. <https://doi.org/10.1002/star.200400293>
- Singh, J., McCarthy, O. J., & Singh, H. (2006). Physico-chemical and morphological characteristics of New Zealand Taewa (Maori potato) starches. *Carbohydrate Polymers*, 64(4), 569–581. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.11.013>
- Singh, J., McCarthy, O. J., Singh, H., Moughan, P. J., & Kaur, L. (2007). Morphological, thermal and rheological characterization of starch isolated from New Zealand Kamo Kamo (*Cucurbita pepo*) fruit – A novel source. *Carbohydrate Polymers*, 67(2), 233–244. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.05.021>
- Singh, N., Chawla, D., & Singh, J. (2004b). Influence of acetic anhydride on physicochemical, morphological and thermal properties of corn and potato starch. *Food Chemistry*, 86(4), 601–608. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.10.008>
- Singh, N., Kaur, L., & Singh, J. (2004). Relationships between various physicochemical, thermal and rheological properties of starches separated from different potato cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(7), 714–720. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1538>

- Singh, N., Shevkani, K., Kaur, A., Thakur, S., Parmar, N., & Singh, A. (2014). Characteristics of starch obtained at different stages of purification during commercial wet milling of maize. *Starch - Stärke*, 66(7–8), 668–677. <https://doi.org/10.1002/star.201300261>
- Siroha, A. K., Sandhu, K. S., Kaur, M., & Kaur, V. (2019). Physicochemical, rheological, morphological and in vitro digestibility properties of pearl millet starch modified at varying levels of acetylation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 131, 1077–1083. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.179>
- Soto, J., Medina, T., Aquino, Y., & Estrada, R. (2014). Diversidad genética de papas nativas (*Solanum* spp.) conservadas en cultivares nativos del Perú. *Revista Peruana de Biología*, 215–222.
- Souza, A. C., Benze, R., Ferrão, E. S., Ditchfield, C., Coelho, A. C. V., & Tadini, C. C. (2012). Cassava starch biodegradable films: Influence of glycerol and clay nanoparticles content on tensile and barrier properties and glass transition temperature. *LWT - Food Science and Technology*, 46(1), 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.10.018>
- Stasiak, M., Molenda, M., Horabik, J., Mueller, P., & Opaliński, I. (2014). Mechanical properties of potato starch modified by moisture content and addition of lubricant. *International Agrophysics*, 28(4), 501–509. <https://doi.org/10.2478/intag-2014-0040>
- Sulbarán, A., Matiz, G. E., & Baena, Y. (2018). Acetilación del almidón de millo (*Pennisetum glaucum*) y evaluación de su aplicación como posible excipiente. *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.*, 47(2), 255–276. <https://doi.org/doi.org/10.15446/rcciquifa.v47n2.73969>
- Sun, B., Tian, Y., Wei, B., Chen, L., Bi, Y., & Jin, Z. (2017). Effect of reaction solvents on the multi-scale structure of potato starch during acid treatment. *International Journal of Biological Macromolecules*, 97, 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.003>
- Sun, D., & Yoo, B. (2015). Effect of tapioca starch addition on rheological, thermal, and gelling properties of rice starch. *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), 205–211. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.062>

- Suri, S., & Singh, A. (2023). Modification of starch by novel and traditional ways: influence on the structure and functional properties. *Sustainable Food Technology*, *1*(3), 348–362. <https://doi.org/10.1039/D2FB00043A>
- Swinkels, J. J. M. (1985). Composition and Properties of Commercial Native Starches. *Starch - Stärke*, *37*(1), 1–5. <https://doi.org/10.1002/star.19850370102>
- Tao, H., Yan, J., Zhao, J., Tian, Y., Jin, Z., & Xu, X. (2015). Effect of Multiple Freezing/Thawing Cycles on the Structural and Functional Properties of Waxy Rice Starch. *PLOS ONE*, *10*(5), e0127138. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127138>
- Tarique, J., Zainudin, E., Sapuan, S., Ilyas, R., & Khalina, A. (2022). Physical, Mechanical, and Morphological Performances of Arrowroot (*Maranta arundinacea*) Fiber Reinforced Arrowroot Starch Biopolymer Composites. *Polymers*, *14*(3), 388. <https://doi.org/10.3390/polym14030388>
- Tester, R. F., Karkalas, J., & Qi, X. (2004). Starch-composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, *39*(2), 151–165. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.12.001>
- Tester, R. F., & Morrison, W. R. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches, I. Effect of amylopectin, amylose and lipids. *Cereal Chemistry*, *67*, 551–557.
- Thais-Paes, R., Leonel, M., Garcia, E., Do carmo, E., & Franco, C. (2015). Crystallinity, thermal and pasting properties of starches from different potato cultivars grown in Brazil. *International Journal of Biological Macromolecules*.
- Tong, C., Ahmed, S., Pang, Y., Zhou, X., & Bao, J. (2018). Fine structure and gelatinization and pasting properties relationships among starches from pigmented potatoes. *Food Hydrocolloids*, *83*, 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.036>
- Tosetti, R., Elmi, F., Pradas, I., Cools, K., & Terry, L. A. (2020). Continuous Exposure to Ethylene Differentially Affects Senescence in Receptacle and Achene Tissues in Strawberry Fruit. *Frontiers in Plant Science*, *11*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00174>

- Tzoumaki, M. V., Biliaderis, C. G., & Vasilakakis, M. (2009). Impact of edible coatings and packaging on quality of white asparagus (*Asparagus officinalis*, L.) during cold storage. *Food Chemistry*, *117*(1), 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.076>
- Vakili-Ghartavol, M., Arouiee, H., Golmohammadzadeh, S., Naseri, M., & Bandian, L. (2024). Edible coatings based on solid lipid nanoparticles containing essential oil to improve antimicrobial activity, shelf-life, and quality of strawberries. *Journal of Stored Products Research*, *106*, 102262. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102262>
- Vargas, G. (2015). Síntesis y caracterización de un almidón modificado de papa (*solanum tuberosum*), (Var. Única) para su aplicación en un helado Soft (Tesis de Ingeniería). *UNALM, Lima, Perú*. Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2179>
- Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., & González-Martínez, C. (2006). Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan–oleic acid edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*, *41*(2), 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.03.016>
- Vargas, M., Pastor, C., Chiralt, A., McClements, J., & González, C. (2008). Recent Advances in Edible Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *48*, 496–511.
- Velásquez-Barreto, F., & Velezmoro, C. (2018). Rheological and viscoelastic properties of Andean tubers starches. *Scientia Agropecuaria*, *9*(2), 189–197. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.03>
- Velickova, E., Winkelhausen, E., Kuzmanova, S., Alves, V. D., & Moldao-Martins, M. (2013). Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditions. *LWT - Food Science and Technology*, *52*(2), 80–92. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.02.004>
- Verma, R., Jan, S., Rani, S., Jan, K., Swer, T. L., Prakash, K. S., ... Bashir, K. (2018). Physicochemical and functional properties of gamma irradiated buckwheat and potato starch. *Radiation Physics and Chemistry*, *144*, 37–42. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2017.11.009>

- Vermeulen, R., Goderis, B., & Delcour, J. A. (2006). An X-ray study of hydrothermally treated potato starch. *Carbohydrate Polymers*, *64*(2), 364–375. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.12.024>
- Wang, J., Tang, X. J., Chen, P. S., & Huang, H. H. (2014). Changes in resistant starch from two banana cultivars during postharvest storage. *Food Chemistry*, *156*, 319–325. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.012>
- Wang, Y., Li, R., Lu, R., Xu, J., Hu, K., & Liu, Y. (2019). Preparation of Chitosan/Corn Starch/Cinnamaldehyde Films for Strawberry Preservation. *Foods*, *8*(9), 423. <https://doi.org/10.3390/foods8090423>
- Wani, A. A., Singh, P., Shah, M. A., Schweiggert-Weisz, U., Gul, K., & Wani, I. A. (2012). Rice Starch Diversity: Effects on Structural, Morphological, Thermal, and Physicochemical Properties-A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *11*(5), 417–436. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00193.x>
- Waterschoot, J., Gomand, S. V., Fierens, E., & Delcour, J. A. (2015). Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. *Starch - Stärke*, *67*(1–2), 14–29. <https://doi.org/10.1002/star.201300238>
- Whistler, R. L., & Daniel, J. R. (1995). Carbohydrates. In O. R. Fennema. *Food Chemistry*, 69–137.
- Whistler, R. L., & McGilvray, D. I. (1954). Chemistry of the carbohydrates. *Annual Review of Biochemistry*, *23*(1), 79–98.
- William, S. (2018). The science of freezing foods. *Extensión de La Universidad de Minnesota*. Retrieved from <http://www.extension.umn.edu/food/food-safety/preserving/freezing/the-science-of-freezing-foods/>
- Wolff, I. A., Olds, D. W., & Hilbert, G. E. (1951). The Acylation of Corn Starch, Amylose and Amylopectin. *Journal of the American Chemical Society*, *73*(1), 346–349. <https://doi.org/10.1021/ja01145a115>

- Woolfe, J. A. (1987). *The Potato in the Human Diet*. Cambridge University Press.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511753435>
- Wootton, M., & Bamunuarachchi, A. (1997). Application of DSC to starch gelatinization. *Starch Starke*, *31*, 201–204.
- Xu, Y., Grizzard, C., Sismour, E., Bhardwaj, H., & Li, Z. (2013). Resistant starch content, molecular structure and physicochemical properties of starches in Virginia-grown corn, potato and mungbean. *Journal of Cereals and Oilseeds*, *4*(1), 10–18.  
<https://doi.org/10.5897/JCO2012.0097>
- Yan, J., Luo, Z., Ban, Z., Lu, H., Li, D., Yang, D., ... Li, L. (2019). The effect of the layer-by-layer (LBL) edible coating on strawberry quality and metabolites during storage. *Postharvest Biology and Technology*, *147*, 29–38.  
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.002>
- Yousif, E. I., Gadallah, M. G. E., & Sorour, A. M. (2012). Physico-chemical and rheological properties of modified corn starches and its effect on noodle quality. *Annals of Agricultural Sciences*, *57*(1), 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2012.03.008>
- Yu, S., Zhang, Y., Li, H., Wang, Y., Gong, C., Liu, X., ... Kopparapu, N. K. (2015). Effect of freeze-thawing treatment on the microstructure and thermal properties of non-waxy corn starch granule. *Starch - Stärke*, *67*(11–12), 989–1001.  
<https://doi.org/10.1002/star.201500109>
- Yuan, Y., Zhang, L., Dai, Y., & Yu, J. (2007). Physicochemical properties of starch obtained from *Dioscorea nipponica* Makino comparison with other tuber starches. *Journal of Food Engineering*, *82*(4), 436–442. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.02.055>
- Zambrano, J., & Quintero, M. (2011). Proceso de obtención de una harina de cidra papa (*Sechium edule*) y su caracterización físico-química (tesis de pregrado). *Universidad Del Valle, Santiago de Cali, Colombia*.

- Zarate-polanco, L., Ramirez-Suarez, L., Otalora-Santamaria, N., Garnica-holguin, A., Ceron-lasso, M., & Arguelles, J. (2013). Extracción y caracterización de almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*Solanum tuberosum*, grupo phujreja). *Revista Latinoamericana de La Papa*.
- Zhang, B., Wang, K., Hasjim, J., Li, E., Flanagan, B. M., Gidley, M. J., & Dhital, S. (2014). Freeze-Drying Changes the Structure and Digestibility of B-Polymorphic Starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(7), 1482–1491. <https://doi.org/10.1021/jf405196m>
- Zhang, H., Montemayor, A. M., Wimsatt, S. T., & Tikekar, R. V. (2022). Effect of combination of UV-A light and chitosan-gallic acid coating on microbial safety and quality of fresh strawberries. *Food Control*, 140, 109106. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109106>
- Zhang, L., Zhao, L., Bian, X., Guo, K., Zhou, L., & Wei, C. (2018). Characterization and comparative study of starches from seven purple sweet potatoes. *Food Hydrocolloids*, 80, 168–176. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.006>
- Zhang, W., Chen, H., Wang, J., Wang, Y., Xing, L., & Zhang, H. (2013). Physicochemical properties of three starches derived from potato, chestnut, and yam as affected by freeze-thaw treatment. *Starch - Stärke*, 66(3–4), 353–360. <https://doi.org/10.1002/star.201200270>
- Zhou, H., Wang, C., Shi, L., Chang, T., Yang, H., & Cui, M. (2014). Effects of salts on physicochemical, microstructural and thermal properties of potato starch. *Food Chemistry*, 156, 137–143. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.015>
- Zhu, F., & Hao, C. (2019). Physicochemical properties of Maori potato starch affected by molecular structure. *Food Hydrocolloids*, 90, 248–253. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.021>

Zorn, E., & Lieberman, L. S. (2010). Freeze Dried but Always Peeled: Biocultural Approaches to Food Processing, Preparation and Consumption of the Andean Potato. In Stanford, L (ed) *Globalizing Food in the Americas. Anthropological Perspectives on the Political Economy, Forms of Resistance and Negotiation of Identities through Food*. Berg Publishers: Oxford, UK.

Zorn, E., & Sue, L. (2004). *Freeze-dried but Always Peeled: Anthropological Approaches to Food Processing, Preparation, and Consumption of the Andean Potato*. 1–7.

Zuluaga, M. F., Baena, Y., Mora, C. E., & De León, L. F. P. (2007). Physicochemical Characterization and Application of Yam (*Dioscorea cayenensis-rotundata*) Starch as a Pharmaceutical Excipient. *Starch - Starke*, 59(7), 307–317. <https://doi.org/10.1002/star.200600516>

## ANEXOS

### ANEXO 1. Análisis de ANOVA para el porcentaje de humedad de papa y chuño.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F  | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|----------|---------|
| Factor | 3  | 11377.0   | 3792.32   | 20682.38 | 0.000   |
| Error  | 8  | 1.5       | 0.18      |          |         |
| Total  | 11 | 11378.4   |           |          |         |

### ANEXO 2. Prueba LSD para el porcentaje de humedad de papa y chuño.

| Factor               | N | Media   | Agrupación |
|----------------------|---|---------|------------|
| Humedad papa imilla  | 3 | 74.217  | A          |
| Humedad papa locka   | 3 | 70.618  | B          |
| Humedad chuño imilla | 3 | 11.5172 | C          |
| Humedad chuño locka  | 3 | 10.272  | D          |

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

### ANEXO 3. Análisis de ANOVA para el porcentaje de cenizas de papa y chuño.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 3  | 51.1897   | 17.0632   | 813.00  | 0.000   |
| Error  | 8  | 0.1679    | 0.0210    |         |         |
| Total  | 11 | 51.3576   |           |         |         |

### ANEXO 4. Prueba LSD para el porcentaje de cenizas de papa y chuño.

| Factor               | N | Media  | Agrupación |
|----------------------|---|--------|------------|
| Cenizas papa imilla  | 3 | 5.1853 | A          |
| Cenizas papa locka   | 3 | 4.880  | B          |
| Cenizas chuño locka  | 3 | 0.9673 | C          |
| Cenizas chuño imilla | 3 | 0.8491 | C          |

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

**ANEXO 5. Análisis de ANOVA para el porcentaje de proteína de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 3  | 153.554   | 51.1846   | 2434.33 | 0.000   |
| Error  | 8  | 0.168     | 0.0210    |         |         |
| Total  | 11 | 153.722   |           |         |         |

**ANEXO 6. Prueba LSD para el porcentaje de proteína de papa y chuño.**

| Factor                | N | Media   | Agrupación |
|-----------------------|---|---------|------------|
| Proteina papa imilla  | 3 | 9.153   | A          |
| Proteina papa locka   | 3 | 8.1752  | B          |
| Proteina chuño locka  | 3 | 1.70868 | C          |
| Proteina chuño imilla | 3 | 1.3847  | D          |

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

**ANEXO 7. Análisis de ANOVA para el porcentaje de grasa de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 3  | 2.3346    | 0.77820   | 14.33   | 0.001   |
| Error  | 8  | 0.4344    | 0.05430   |         |         |
| Total  | 11 | 2.7690    |           |         |         |

**ANEXO 8. Prueba LSD para el porcentaje de grasa de papa y chuño.**

| Factor             | N | Media   | Agrupación |
|--------------------|---|---------|------------|
| Grasa papa imilla  | 3 | 1.2308  | A          |
| Grasa papa locka   | 3 | 0.90431 | A          |
| Grasa chuño locka  | 3 | 0.385   | B          |
| Grasa chuño imilla | 3 | 0.09656 | B          |

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

**ANEXO 9. Análisis de ANOVA para el porcentaje de fibra de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 3  | 26.8707   | 8.95691   | 1576.90 | 0.000   |
| Error  | 8  | 0.0454    | 0.00568   |         |         |
| Total  | 11 | 26.9162   |           |         |         |

**ANEXO 10. Prueba LSD para el porcentaje de fibra de papa y chuño.**

| Factor             | N | Media   | Agrupación |
|--------------------|---|---------|------------|
| Fibra papa imilla  | 3 | 3.7664  | A          |
| Fibra papa locka   | 3 | 3.19335 | B          |
| Fibra chuño locka  | 3 | 0.5724  | C          |
| Fibra chuño imilla | 3 | 0.4590  | C          |

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

**ANEXO 11. Análisis de ANOVA para el porcentaje de carbohidratos de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F  | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|----------|---------|
| Factor | 3  | 17632.4   | 5877.47   | 13007.04 | 0.000   |
| Error  | 8  | 3.6       | 0.45      |          |         |
| Total  | 11 | 17636.0   |           |          |         |

**ANEXO 12. Prueba LSD para el porcentaje de carbohidratos de papa y chuño.**

| Factor                     | N | Media  | Agrupación |
|----------------------------|---|--------|------------|
| Carbohidratos chuño locka  | 3 | 86.094 | A          |
| Carbohidratos chuño imilla | 3 | 85.693 | A          |
| Carbohidratos papa locka   | 3 | 12.229 | B          |
| Carbohidratos papa imilla  | 3 | 6.448  | C          |

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

**ANEXO 13. Análisis de ANOVA para el porcentaje de rendimiento total en la elaboración de chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 1  | 6.988     | 6.9879    | 18.41   | 0.013   |
| Error  | 4  | 1.518     | 0.3796    |         |         |
| Total  | 5  | 8.506     |           |         |         |

**ANEXO 14. Prueba LSD para el porcentaje de rendimiento total en la elaboración de chuño.**

| Factor                         | N | Media  | Agrupación |
|--------------------------------|---|--------|------------|
| Rendimiento chuño locka        | 3 | 24.565 | A          |
| Rendimiento chuño imilla negra | 3 | 22.407 | B          |

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

**ANEXO 15. Análisis de ANOVA para el porcentaje de rendimiento de los almidones.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 3  | 204.53    | 68.176    | 40.75   | 0.000   |
| Error  | 8  | 13.38     | 1.673     |         |         |
| Total  | 11 | 217.91    |           |         |         |

**ANEXO 16. Prueba LSD para el porcentaje de rendimiento de los almidones.**

| Factor                   | N | Media  | Agrupación |
|--------------------------|---|--------|------------|
| Rendimiento chuño Locka  | 3 | 20.729 | A          |
| Rendimiento chuño Imilla | 3 | 19.295 | A          |
| Rendimiento papa Imilla  | 3 | 13.074 | B          |
| Rendimiento papa Locka   | 3 | 10.862 | B          |

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

**ANEXO 17. Análisis de ANOVA para el espacio de color L\* para almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 15 | 3174.30   | 211.620   | 244.50  | 0.000   |
| Error  | 32 | 27.70     | 0.866     |         |         |
| Total  | 47 | 3201.99   |           |         |         |

**ANEXO 18. Prueba LSD para el espacio de color L\* para almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Factor   | N | Media   | Agrupación |   |   |   |   |
|----------|---|---------|------------|---|---|---|---|
| APL15 L* | 3 | 97.317  | A          |   |   |   |   |
| API15 L* | 3 | 96.5033 | A          |   |   |   |   |
| APL10 L* | 3 | 96.2300 | A          |   |   |   |   |
| API5 L*  | 3 | 95.883  | A          | B |   |   |   |
| APL5 L*  | 3 | 94.453  |            | B | C |   |   |
| API10 L* | 3 | 93.617  |            | C | D |   |   |
| APL L*   | 3 | 93.1600 |            | C | D |   |   |
| API L*   | 3 | 92.570  |            | D |   |   |   |
| ACL10 L* | 3 | 84.647  |            |   | E |   |   |
| ACL15 L* | 3 | 82.517  |            |   | F |   |   |
| ACI15 L* | 3 | 80.71   |            |   | G |   |   |
| ACL5 L*  | 3 | 79.687  |            |   | G | H |   |
| ACL L*   | 3 | 78.9000 |            |   |   | H |   |
| ACI10 L* | 3 | 78.630  |            |   |   | H |   |
| ACI L*   | 3 | 75.990  |            |   |   |   | I |
| ACI5 L*  | 3 | 74.59   |            |   |   |   | I |

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

**ANEXO 19. Análisis de ANOVA para el espacio de color a\* para almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 15 | 13.095    | 0.8730    | 7.68    | 0.000   |
| Error  | 32 | 3.636     | 0.1136    |         |         |
| Total  | 47 | 16.731    |           |         |         |

**ANEXO 20. Prueba LSD para el espacio de color a\* para almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Factor   | N | Media   | Agrupación |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----------|---|---------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ACI5 a*  | 3 | 0.850   | A          |   |   |   |   |   |   |   |   |
| ACI10 a* | 3 | 0.5500  | A          | B |   |   |   |   |   |   |   |
| ACL a*   | 3 | 0.5500  | A          | B |   |   |   |   |   |   |   |
| ACI a*   | 3 | 0.373   | A          | B | C |   |   |   |   |   |   |
| ACL10 a* | 3 | 0.333   | A          | B | C | D |   |   |   |   |   |
| ACI15 a* | 3 | 0.233   |            | B | C | D | E |   |   |   |   |
| ACL5 a*  | 3 | 0.1867  |            | B | C | D | E | F |   |   |   |
| APL15 a* | 3 | -0.1100 |            |   | C | D | E | F | G |   |   |
| ACL15 a* | 3 | -0.1900 |            |   |   | D | E | F | G |   |   |
| API a*   | 3 | -0.2467 |            |   |   |   | E | F | G |   |   |
| APL a*   | 3 | -0.2833 |            |   |   |   | E | F | G | H |   |
| APL10 a* | 3 | -0.3633 |            |   |   |   |   | F | G | H |   |
| API5 a*  | 3 | -0.3767 |            |   |   |   |   |   | G | H |   |
| API10 a* | 3 | -0.5067 |            |   |   |   |   |   | G | H |   |
| API15 a* | 3 | -0.8233 |            |   |   |   |   |   |   | H | I |
| APL5 a*  | 3 | -1.1667 |            |   |   |   |   |   |   |   | I |

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

**ANEXO 21. Análisis de ANOVA para el espacio de color b\* para almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 15 | 62.610    | 4.1740    | 19.29   | 0.000   |
| Error  | 32 | 6.923     | 0.2163    |         |         |
| Total  | 47 | 69.533    |           |         |         |

**ANEXO 22. Prueba LSD para el espacio de color b\* para almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Factor   | N | Media  | Agrupación |   |     |
|----------|---|--------|------------|---|-----|
| ACI5 b*  | 3 | 5.0633 | A          |   |     |
| ACI b*   | 3 | 4.780  | A          |   |     |
| ACI15 b* | 3 | 4.567  | A          |   |     |
| ACI10 b* | 3 | 4.350  | A          |   |     |
| ACL15 b* | 3 | 3.073  | B          |   |     |
| ACL5 b*  | 3 | 2.983  | B          |   |     |
| ACL b*   | 3 | 2.950  | B          | C |     |
| APL5 b*  | 3 | 2.840  | B          | C |     |
| ACL10 b* | 3 | 2.830  | B          | C |     |
| APL10 b* | 3 | 2.4900 | B          | C | D   |
| API b*   | 3 | 2.2033 |            | C | D   |
| API10 b* | 3 | 2.040  |            |   | D   |
| API15 b* | 3 | 1.993  |            |   | D   |
| APL b*   | 3 | 1.8167 |            |   | D E |
| API5 b*  | 3 | 1.800  |            |   | D E |
| APL15 b* | 3 | 1.1267 |            |   | E   |

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

**ANEXO 23. Análisis de ANOVA para el porcentaje de humedad de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 15 | 26.7182   | 1.78121   | 159.96  | 0.000   |
| Error  | 32 | 0.3563    | 0.01114   |         |         |
| Total  | 47 | 27.0745   |           |         |         |

**ANEXO 24. Prueba LSD para el porcentaje de humedad de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Factor            | N | Media   | Agrupación |  |  |
|-------------------|---|---------|------------|--|--|
| ACI Humedad       | 3 | 10.1482 | A          |  |  |
| ACI 10ML Humedad  | 3 | 9.51412 | B          |  |  |
| ACI 5ML Humedad   | 3 | 9.41788 | B          |  |  |
| ACL Humedad       | 3 | 9.1837  | C          |  |  |
| API 10ML Humedad  | 3 | 9.1484  | C          |  |  |
| ACL 10 ML Humedad | 3 | 9.01484 | C D        |  |  |
| ACL 5ML Humedad   | 3 | 8.88212 | D E        |  |  |
| ACI 15ML Humedad  | 3 | 8.71288 | E          |  |  |
| APL 10 ML Humedad | 3 | 8.4569  | F          |  |  |
| ACL 15ML Humedad  | 3 | 8.34156 | F G        |  |  |
| API 5ML Humedad   | 3 | 8.1994  | G H        |  |  |
| APL Humedad       | 3 | 8.150   | H          |  |  |
| APL 5ML Humedad   | 3 | 7.9582  | I          |  |  |
| API Humedad       | 3 | 7.8725  | I          |  |  |
| APL 15ML Humedad  | 3 | 7.6143  | J          |  |  |
| API 15ML Humedad  | 3 | 7.2803  | K          |  |  |

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

**ANEXO 25. Análisis de ANOVA para el porcentaje de cenizas de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 15 | 0.664077  | 0.044272  | 204.48  | 0.000   |
| Error  | 32 | 0.006928  | 0.000217  |         |         |
| Total  | 47 | 0.671006  |           |         |         |

**ANEXO 26. Prueba LSD para el porcentaje de cenizas de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Factor            | N | Media    | Agrupación |   |   |     |
|-------------------|---|----------|------------|---|---|-----|
| ACI Cenizas       | 3 | 0.44197  | A          |   |   |     |
| ACL 10 ML Cenizas | 3 | 0.42188  | A          | B |   |     |
| ACL 15ML Cenizas  | 3 | 0.41001  |            | B |   |     |
| ACL Cenizas       | 3 | 0.35156  |            |   | C |     |
| ACI 10ML Cenizas  | 3 | 0.34539  |            |   | C |     |
| ACI 15ML Cenizas  | 3 | 0.33491  |            |   | C | D   |
| ACL 5ML Cenizas   | 3 | 0.33412  |            |   | C | D   |
| ACI 5ML Cenizas   | 3 | 0.31912  |            |   |   | D   |
| APL Cenizas       | 3 | 0.1840   |            |   | E |     |
| APL 5ML Cenizas   | 3 | 0.17809  |            |   | E | F   |
| API Cenizas       | 3 | 0.15402  |            |   | F | G   |
| API 15ML Cenizas  | 3 | 0.149042 |            |   |   | G H |
| API 5ML Cenizas   | 3 | 0.13944  |            |   |   | G H |
| API 10ML Cenizas  | 3 | 0.13004  |            |   |   | G H |
| APL 10 ML Cenizas | 3 | 0.12764  |            |   |   | H I |
| APL 15ML Cenizas  | 3 | 0.10392  |            |   |   | I   |

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

**ANEXO 27. Análisis de ANOVA para el porcentaje de grasa de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 15 | 0.002994  | 0.000200  | 51.93   | 0.000   |
| Error  | 32 | 0.000123  | 0.000004  |         |         |
| Total  | 47 | 0.003117  |           |         |         |

**ANEXO 28. Prueba LSD para el porcentaje de grasa de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Factor          | N | Media    | Agrupación |   |   |
|-----------------|---|----------|------------|---|---|
| APL Grasa       | 3 | 0.03462  | A          |   |   |
| APL 10 ML Grasa | 3 | 0.02441  | B          |   |   |
| API 10ML Grasa  | 3 | 0.021946 | B          |   |   |
| API 5ML Grasa   | 3 | 0.021483 | B          | C |   |
| APL 5ML Grasa   | 3 | 0.01854  | C          |   |   |
| API Grasa       | 3 | 0.018456 | C          | D |   |
| ACL Grasa       | 3 | 0.015243 | D          |   | E |
| APL 15ML Grasa  | 3 | 0.014627 | E          |   |   |
| API 15ML Grasa  | 3 | 0.014255 | E          |   |   |
| ACI 10ML Grasa  | 3 | 0.014189 | E          |   |   |
| ACL 10 ML Grasa | 3 | 0.014153 | E          |   |   |
| ACI Grasa       | 3 | 0.012942 | E          |   |   |
| ACI 5ML Grasa   | 3 | 0.012104 | E          |   | F |
| ACI 15ML Grasa  | 3 | 0.009124 | F          |   |   |
| ACL 5ML Grasa   | 3 | 0.001715 | G          |   |   |
| ACL 15ML Grasa  | 3 | 0.001242 | G          |   |   |

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

**ANEXO 29. Análisis de ANOVA para el porcentaje de fibra de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F  | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|----------|---------|
| Factor | 15 | 6.54577   | 0.436384  | 40593.89 | 0.000   |
| Error  | 32 | 0.00034   | 0.000011  |          |         |
| Total  | 47 | 6.54611   |           |          |         |

**ANEXO 30. Prueba LSD para el porcentaje de fibra de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Factor          | N | Media    | Agrupación |
|-----------------|---|----------|------------|
| ACI Fibra       | 3 | 0.91457  | A          |
| ACI 10ML Fibra  | 3 | 0.83411  | B          |
| ACI 5ML Fibra   | 3 | 0.81425  | C          |
| ACL 10 ML Fibra | 3 | 0.75194  | D          |
| ACL 15ML Fibra  | 3 | 0.721092 | E          |
| ACL Fibra       | 3 | 0.719566 | E          |
| ACI 15ML Fibra  | 3 | 0.71591  | E          |
| ACL 5ML Fibra   | 3 | 0.70181  | F          |
| APL Fibra       | 3 | 0.06278  | G          |
| APL 5ML Fibra   | 3 | 0.049353 | H          |
| API 15ML Fibra  | 3 | 0.041738 | I          |
| APL 10 ML Fibra | 3 | 0.04125  | I          |
| API Fibra       | 3 | 0.037718 | I J        |
| APL 15ML Fibra  | 3 | 0.034233 | J K        |
| API 5ML Fibra   | 3 | 0.031251 | K          |
| API 10ML Fibra  | 3 | 0.021948 | L          |

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

**ANEXO 31. Análisis de ANOVA para el porcentaje de proteínas de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 15 | 1.28891   | 0.085927  | 109.43  | 0.000   |
| Error  | 32 | 0.02513   | 0.000785  |         |         |
| Total  | 47 | 1.31403   |           |         |         |

**ANEXO 32. Prueba LSD para el porcentaje de proteínas de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Factor              | N | Media   | Agrupación |   |   |   |   |
|---------------------|---|---------|------------|---|---|---|---|
| APL Proteinas       | 3 | 0.8385  | A          |   |   |   |   |
| APL 5ML Proteinas   | 3 | 0.81482 | A          |   |   |   |   |
| APL 10 ML Proteinas | 3 | 0.61581 | B          |   |   |   |   |
| APL 15ML Proteinas  | 3 | 0.54168 | C          |   |   |   |   |
| API Proteinas       | 3 | 0.52331 | C          |   |   |   |   |
| API 5ML Proteinas   | 3 | 0.42261 | D          |   |   |   |   |
| API 10ML Proteinas  | 3 | 0.41001 | D          | E |   |   |   |
| ACI Proteinas       | 3 | 0.38332 | D          | E | F |   |   |
| ACI 10ML Proteinas  | 3 | 0.36410 |            | E | F | G |   |
| ACL Proteinas       | 3 | 0.36003 |            |   | F | G |   |
| ACI 5ML Proteinas   | 3 | 0.35445 |            |   | F | G | H |
| ACL 5ML Proteinas   | 3 | 0.35148 |            |   | F | G | H |
| ACL 10 ML Proteinas | 3 | 0.33458 |            |   |   | G | H |
| ACI 15ML Proteinas  | 3 | 0.33382 |            |   |   | G | H |
| API 15ML Proteinas  | 3 | 0.31878 |            |   |   | G | H |
| ACL 15ML Proteinas  | 3 | 0.31020 |            |   |   |   | H |

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

**ANEXO 33. Análisis de ANOVA para el porcentaje de carbohidratos de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 15 | 55.7385   | 3.71590   | 300.54  | 0.000   |
| Error  | 32 | 0.3956    | 0.01236   |         |         |
| Total  | 47 | 56.1341   |           |         |         |

**ANEXO 34. Prueba LSD para el porcentaje de carbohidratos de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Factor                     | N | Media   | Agrupación |  |  |
|----------------------------|---|---------|------------|--|--|
| API 15ML<br>Carbohidratos  | 3 | 92.1959 | A          |  |  |
| APL 15ML<br>Carbohidratos  | 3 | 91.6912 | B          |  |  |
| API Carbohidratos          | 3 | 91.3940 | C          |  |  |
| API 5ML<br>Carbohidratos   | 3 | 91.1858 | D          |  |  |
| APL 5ML<br>Carbohidratos   | 3 | 90.9810 | E          |  |  |
| APL 10 ML<br>Carbohidratos | 3 | 90.7340 | F          |  |  |
| APL Carbohidratos          | 3 | 90.730  | F          |  |  |
| API 10ML<br>Carbohidratos  | 3 | 90.2676 | G          |  |  |
| ACL 15ML<br>Carbohidratos  | 3 | 90.2159 | G          |  |  |
| ACI 15ML<br>Carbohidratos  | 3 | 89.8933 | H          |  |  |
| ACL 5ML<br>Carbohidratos   | 3 | 89.7288 | H          |  |  |
| ACL 10 ML<br>Carbohidratos | 3 | 89.4626 | I          |  |  |
| ACL Carbohidratos          | 3 | 89.3699 | I          |  |  |
| ACI 5ML<br>Carbohidratos   | 3 | 89.0822 | J          |  |  |
| ACI 10ML<br>Carbohidratos  | 3 | 88.9281 | J          |  |  |
| ACI Carbohidratos          | 3 | 88.0990 | K          |  |  |

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

**ANEXO 35. Análisis de ANOVA para el porcentaje de amilosa de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 15 | 567.400   | 37.8267   | 3278.68 | 0.000   |
| Error  | 32 | 0.369     | 0.0115    |         |         |
| Total  | 47 | 567.769   |           |         |         |

**ANEXO 36. Prueba LSD para el porcentaje de amilosa de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Factor               | N | Media   | Agrupación |   |   |
|----------------------|---|---------|------------|---|---|
| API 15ML<br>Amilosa  | 3 | 33.1279 | A          |   |   |
| API 10ML<br>Amilosa  | 3 | 32.0516 | B          |   |   |
| API 5ML<br>Amilosa   | 3 | 29.3003 | C          |   |   |
| API Amilosa          | 3 | 28.8447 | D          |   |   |
| APL 15ML<br>Amilosa  | 3 | 26.5027 | E          |   |   |
| ACI 15ML<br>Amilosa  | 3 | 25.254  | F          |   |   |
| APL 10 ML<br>Amilosa | 3 | 25.1634 | F          |   |   |
| ACL 15ML<br>Amilosa  | 3 | 25.1216 | F          |   |   |
| APL 5ML<br>Amilosa   | 3 | 24.8144 | G          |   |   |
| ACI 10ML<br>Amilosa  | 3 | 24.347  | H          |   |   |
| ACL 10 ML<br>Amilosa | 3 | 24.2050 | H          | I |   |
| APL Amilosa          | 3 | 24.1449 | I          |   |   |
| ACI 5ML<br>Amilosa   | 3 | 22.6894 |            | J |   |
| ACI Amilosa          | 3 | 22.4292 |            | K |   |
| ACL 5ML<br>Amilosa   | 3 | 22.2116 |            |   | L |
| ACL Amilosa          | 3 | 20.2101 |            |   | M |

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

**ANEXO 37. Análisis de ANOVA para el porcentaje de amilopectina de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 15 | 567.400   | 37.8267   | 3278.68 | 0.000   |
| Error  | 32 | 0.369     | 0.0115    |         |         |
| Total  | 47 | 567.769   |           |         |         |

**ANEXO 38. Prueba LSD para el porcentaje de amilopectina de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Factor                 | N | Media   | Agrupación |   |  |
|------------------------|---|---------|------------|---|--|
| ACL Amilopectina       | 3 | 79.7899 | A          |   |  |
| ACL 5ML Amilopectina   | 3 | 77.7884 | B          |   |  |
| ACI Amilopectina       | 3 | 77.5708 | C          |   |  |
| ACI 5ML Amilopectina   | 3 | 77.3106 | D          |   |  |
| APL Amilopectina       | 3 | 75.8551 | E          |   |  |
| ACL 10 ML Amilopectina | 3 | 75.7950 | E          | F |  |
| ACI 10ML Amilopectina  | 3 | 75.653  | F          |   |  |
| APL 5ML Amilopectina   | 3 | 75.1856 | G          |   |  |
| ACL 15ML Amilopectina  | 3 | 74.8784 | H          |   |  |
| APL 10 ML Amilopectina | 3 | 74.8366 | H          |   |  |
| ACI 15ML Amilopectina  | 3 | 74.746  | H          |   |  |
| APL 15ML Amilopectina  | 3 | 73.4973 | I          |   |  |
| API Amilopectina       | 3 | 71.1553 | J          |   |  |
| API 5ML Amilopectina   | 3 | 70.6997 | K          |   |  |
| API 10ML Amilopectina  | 3 | 67.9484 | L          |   |  |
| API 15ML Amilopectina  | 3 | 66.8721 | M          |   |  |

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

**ANEXO 39. Análisis de ANOVA para determinar la temperatura inicial To (°C) de las muestras de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 15 | 124.934   | 8.32892   | 247.79  | 0       |
| Error  | 32 | 1.076     | 0.03361   |         |         |
| Total  | 47 | 126.009   |           |         |         |

**ANEXO 40. Prueba LSD para determinar la temperatura inicial To (°C) de las muestras de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Factor            | N | Media   | Agrupación |   |   |
|-------------------|---|---------|------------|---|---|
| ACI 10ML To (°C)  | 3 | 61.67   | A          |   |   |
| ACI 15ML To (°C)  | 3 | 60.825  | B          |   |   |
| ACI 5ML To (°C)   | 3 | 60.506  |            | C |   |
| ACL 15ML To (°C)  | 3 | 60.487  |            | C |   |
| ACL 10 ML To (°C) | 3 | 60.3147 |            | C | D |
| ACL 5ML To (°C)   | 3 | 60.1717 |            |   | D |
| ACL To (°C)       | 3 | 59.375  |            | E |   |
| APL 15ML To (°C)  | 3 | 58.0453 |            |   | F |
| API 15ML To (°C)  | 3 | 57.535  |            |   | G |
| APL 5ML To (°C)   | 3 | 57.5157 |            |   | G |
| API To (°C)       | 3 | 57.5033 |            |   | G |
| APL 10ML To (°C)  | 3 | 57.4767 |            |   | G |
| API 5ML To (°C)   | 3 | 57.432  |            |   | G |
| ACI To (°C)       | 3 | 57.378  |            |   | G |
| API 10ML To (°C)  | 3 | 56.965  |            |   | H |
| APL To (°C)       | 3 | 56.6577 |            |   | I |

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

**ANEXO 41. Análisis de ANOVA para determinar la temperatura Pico Tp (°C) de las muestras de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 15 | 126.691   | 8.44610   | 258.46  | 0.000   |
| Error  | 32 | 1.046     | 0.03268   |         |         |
| Total  | 47 | 127.737   |           |         |         |

**ANEXO 42. Prueba LSD para determinar la temperatura Pico Tp (°C) de las muestras de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Factor            | N | Media   | Agrupación |   |     |
|-------------------|---|---------|------------|---|-----|
| ACI 5ML Tp (°C)   | 3 | 64.9633 | A          |   |     |
| ACI 10ML Tp (°C)  | 3 | 64.930  | A          |   |     |
| ACI 15ML Tp (°C)  | 3 | 64.7867 | A          |   |     |
| ACL 5ML Tp (°C)   | 3 | 64.153  |            | B |     |
| ACL 10 ML Tp (°C) | 3 | 64.1400 |            | B |     |
| ACL 15ML Tp (°C)  | 3 | 63.7867 |            | C |     |
| ACL Tp (°C)       | 3 | 63.0867 |            | D |     |
| API 15ML Tp (°C)  | 3 | 61.8100 |            | E |     |
| APL 15ML Tp (°C)  | 3 | 61.570  |            | E | F   |
| API Tp (°C)       | 3 | 61.480  |            | F | G   |
| APL 5ML Tp (°C)   | 3 | 61.3500 |            | F | G   |
| API 5ML Tp (°C)   | 3 | 61.290  |            | F | G   |
| ACI Tp (°C)       | 3 | 61.253  |            |   | G   |
| API 10ML Tp (°C)  | 3 | 60.787  |            |   | H   |
| APL 10ML Tp (°C)  | 3 | 60.6200 |            |   | H I |
| APL Tp (°C)       | 3 | 60.397  |            |   | I   |

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

**ANEXO 43. Análisis de ANOVA para determinar la temperatura final Tf (°C) de las muestras de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 15 | 180.992   | 12.0661   | 160.60  | 0.000   |
| Error  | 32 | 2.404     | 0.0751    |         |         |
| Total  | 47 | 183.396   |           |         |         |

**ANEXO 44. Prueba LSD para determinar la temperatura final Tf (°C) de las muestras de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Factor            | N | Media   | Agrupación |  |  |
|-------------------|---|---------|------------|--|--|
| ACL 15ML Tf (°C)  | 3 | 75.8633 | A          |  |  |
| ACI 15ML Tf (°C)  | 3 | 75.597  | A          |  |  |
| ACL 10 ML Tf (°C) | 3 | 74.543  | B          |  |  |
| ACI 5ML Tf (°C)   | 3 | 74.403  | B C        |  |  |
| ACL 5ML Tf (°C)   | 3 | 74.1300 | B C        |  |  |
| APL Tf (°C)       | 3 | 74.100  | B C        |  |  |
| ACI 10ML Tf (°C)  | 3 | 74.060  | C          |  |  |
| API Tf (°C)       | 3 | 73.5567 | D          |  |  |
| API 15ML Tf (°C)  | 3 | 73.553  | D          |  |  |
| ACI Tf (°C)       | 3 | 73.267  | D E        |  |  |
| APL 15ML Tf (°C)  | 3 | 72.853  | E          |  |  |
| APL 10ML Tf (°C)  | 3 | 72.353  | F          |  |  |
| API 5ML Tf (°C)   | 3 | 71.800  | G          |  |  |
| ACL Tf (°C)       | 3 | 70.537  | H          |  |  |
| APL 5ML Tf (°C)   | 3 | 69.323  | I          |  |  |
| API 10ML Tf (°C)  | 3 | 69.0833 | I          |  |  |

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

**ANEXO 45. Análisis de ANOVA para determinar la entalpía de gelatinización  $\Delta H$  (J/g) de las muestras de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 15 | 44.296    | 2.9530    | 18.23   | 0.000   |
| Error  | 32 | 5.185     | 0.1620    |         |         |
| Total  | 47 | 49.480    |           |         |         |

**ANEXO 46. Prueba LSD para determinar la entalpía de gelatinización  $\Delta H$  (J/g) de las muestras de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Factor                     | N | Media  | Agrupación |   |   |     |
|----------------------------|---|--------|------------|---|---|-----|
| ACL 15ML $\Delta H$ (J/g)  | 3 | 5.993  | A          |   |   |     |
| APL $\Delta H$ (J/g)       | 3 | 4.762  | B          |   |   |     |
| ACI 15ML $\Delta H$ (J/g)  | 3 | 4.565  | B          | C |   |     |
| APL 10ML $\Delta H$ (J/g)  | 3 | 4.048  |            | C | D |     |
| ACL 5ML $\Delta H$ (J/g)   | 3 | 3.895  |            | D | E |     |
| API $\Delta H$ (J/g)       | 3 | 3.394  |            | D | E | F   |
| ACL 10 ML $\Delta H$ (J/g) | 3 | 3.250  |            |   | E | F G |
| ACI 5ML $\Delta H$ (J/g)   | 3 | 3.246  |            |   | E | F G |
| API 5ML $\Delta H$ (J/g)   | 3 | 3.168  |            |   |   | F G |
| API 15ML $\Delta H$ (J/g)  | 3 | 3.0658 |            |   |   | F G |
| API 10ML $\Delta H$ (J/g)  | 3 | 3.019  |            |   |   | F G |
| ACL $\Delta H$ (J/g)       | 3 | 2.837  |            |   |   | F G |
| ACI $\Delta H$ (J/g)       | 3 | 2.764  |            |   |   | F G |
| APL 5ML $\Delta H$ (J/g)   | 3 | 2.645  |            |   |   | G H |
| APL 15ML $\Delta H$ (J/g)  | 3 | 2.632  |            |   |   | G H |
| ACI 10ML $\Delta H$ (J/g)  | 3 | 1.995  |            |   |   | H   |

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

**ANEXO 47. Análisis de ANOVA para el umbral de fluencia  $\sigma$  (Pa) de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 15 | 28967.0   | 1931.13   | 456.68  | 0.000   |
| Error  | 32 | 135.3     | 4.23      |         |         |
| Total  | 47 | 29102.3   |           |         |         |

**ANEXO 48. Prueba LSD para el umbral de fluencia  $\sigma$  (Pa) de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Factor                 | N | Media  | Agrupación |   |   |
|------------------------|---|--------|------------|---|---|
| APL $\sigma$ (Pa)      | 3 | 67.83  | A          |   |   |
| API 10ML $\sigma$ (Pa) | 3 | 55.775 | B          |   |   |
| API $\sigma$ (Pa)      | 3 | 52.42  | B          | C |   |
| API 5ML $\sigma$ (Pa)  | 3 | 50.83  |            | C | D |
| API 15ML $\sigma$ (Pa) | 3 | 50.69  |            | C | D |
| APL 15ML $\sigma$ (Pa) | 3 | 50.36  |            | C | D |
| APL 5ML $\sigma$ (Pa)  | 3 | 48.363 |            | D |   |
| APL 10ML $\sigma$ (Pa) | 3 | 23.909 |            |   | E |
| ACI $\sigma$ (Pa)      | 3 | 15.723 |            |   | F |
| ACI 10ML $\sigma$ (Pa) | 3 | 3.374  |            |   | G |
| ACL 10ML $\sigma$ (Pa) | 3 | 2.817  |            |   | G |
| ACL 15ML $\sigma$ (Pa) | 3 | 2.4891 |            |   | G |
| ACI 15ML $\sigma$ (Pa) | 3 | 2.2936 |            |   | G |
| ACL 5ML $\sigma$ (Pa)  | 3 | 2.0726 |            |   | G |
| ACL $\sigma$ (Pa)      | 3 | 2.0394 |            |   | G |
| ACI 5ML $\sigma$ (Pa)  | 3 | 1.5489 |            |   | G |

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

**ANEXO 49. Análisis de ANOVA para el índice reológico( $\eta$ ) de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 15 | 0.368256  | 0.024550  | 98.50   | 0.000   |
| Error  | 32 | 0.007976  | 0.000249  |         |         |
| Total  | 47 | 0.376232  |           |         |         |

**ANEXO 50. Prueba LSD para el índice reológico( $\eta$ ) de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Factor                              | N | Media   | Agrupación |   |   |   |
|-------------------------------------|---|---------|------------|---|---|---|
| APL 10ML índice reológico( $\eta$ ) | 3 | 0.80453 | A          |   |   |   |
| ACI 15ML índice reológico( $\eta$ ) | 3 | 0.71927 | B          |   |   |   |
| ACI 10ML índice reológico( $\eta$ ) | 3 | 0.7050  | B          | C |   |   |
| ACI 5ML índice reológico( $\eta$ )  | 3 | 0.69947 | B          | C | D |   |
| ACL 15ML índice reológico( $\eta$ ) | 3 | 0.68143 |            | C | D | E |
| ACL índice reológico( $\eta$ )      | 3 | 0.67510 |            |   | D | E |
| ACL 5ML índice reológico( $\eta$ )  | 3 | 0.66983 |            |   |   | E |
| ACL 10ML índice reológico( $\eta$ ) | 3 | 0.6630  |            |   |   | E |
| ACI índice reológico( $\eta$ )      | 3 | 0.5923  |            |   |   | F |
| APL 5ML índice reológico( $\eta$ )  | 3 | 0.58840 |            |   |   | F |
| APL 15ML índice reológico( $\eta$ ) | 3 | 0.57223 |            |   |   | F |
| API 10ML índice reológico( $\eta$ ) | 3 | 0.54320 |            |   |   | G |
| API 15ML índice reológico( $\eta$ ) | 3 | 0.52807 |            |   |   | G |
| APL índice reológico( $\eta$ )      | 3 | 0.52547 |            |   |   | G |
| API 5ML índice reológico( $\eta$ )  | 3 | 0.52173 |            |   |   | G |
| API índice reológico( $\eta$ )      | 3 | 0.48817 |            |   |   | H |

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

**ANEXO 51. Análisis de ANOVA para el índice de consistencia (K) de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 15 | 2883.61   | 192.241   | 837.94  | 0.000   |
| Error  | 32 | 7.34      | 0.229     |         |         |
| Total  | 47 | 2890.95   |           |         |         |

**ANEXO 52. Prueba LSD para el índice de consistencia (K) de almidones nativos y modificados de papa y chuño.**

| Factor                         | N | Media   | Agrupación |   |   |
|--------------------------------|---|---------|------------|---|---|
| API índice consistencia K      | 3 | 20.4595 | A          |   |   |
| APL índice consistencia K      | 3 | 19.407  | B          |   |   |
| API 15ML índice consistencia K | 3 | 19.105  | B          | C |   |
| API 5ML índice consistencia K  | 3 | 18.710  | B          | C |   |
| API 10ML índice consistencia K | 3 | 18.368  |            | C |   |
| APL 15ML índice consistencia K | 3 | 13.831  |            | D |   |
| APL 5ML índice consistencia K  | 3 | 12.876  |            |   | E |
| ACI índice consistencia K      | 3 | 4.658   |            |   | F |
| APL 10ML índice consistencia K | 3 | 4.1968  |            |   | F |
| ACL índice consistencia K      | 3 | 2.0533  |            |   | G |
| ACI 5ML índice consistencia K  | 3 | 1.9563  |            |   | G |
| ACI 15ML índice consistencia K | 3 | 1.9382  |            |   | G |
| ACL 5ML índice consistencia K  | 3 | 1.9353  |            |   | G |
| ACL 15ML índice consistencia K | 3 | 1.9234  |            |   | G |
| ACL 10ML índice consistencia K | 3 | 1.6685  |            |   | G |
| ACI 10ML índice consistencia K | 3 | 1.539   |            |   | G |

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

**ANEXO 53. Análisis de ANOVA para la tasa de respiración en términos de generación de Oxígeno.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 8  | 0.8129    | 0.10162   | 1.65    | 0.179   |
| Error  | 18 | 1.1067    | 0.06148   |         |         |
| Total  | 26 | 1.9196    |           |         |         |

**ANEXO 54. Prueba LSD para la tasa de respiración en términos de generación de Oxígeno.**

| Factor                              | N | Media    | Agrupación |   |   |
|-------------------------------------|---|----------|------------|---|---|
| Recubrimiento ACI - O <sub>2</sub>  | 3 | -22.712  | A          |   |   |
| Recubrimiento APL - O <sub>2</sub>  | 3 | -22.91   | A          | B |   |
| Recubrimiento ACL - O <sub>2</sub>  | 3 | -22.999  | A          | B | C |
| SR - O <sub>2</sub>                 | 3 | -23.0907 | A          | B | C |
| Recubrimiento API - O <sub>2</sub>  | 3 | -23.1342 | A          | B | C |
| Recubrimiento APLM - O <sub>2</sub> | 3 | -23.137  | A          | B | C |
| Recubrimiento ACIM - O <sub>2</sub> | 3 | -23.1543 |            | B | C |
| Recubrimiento APIM - O <sub>2</sub> | 3 | -23.1701 |            | B | C |
| Recubrimiento ACLM - O <sub>2</sub> | 3 | -23.364  |            |   | C |

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

**ANEXO 55. Análisis de ANOVA para la tasa de respiración en términos de generación de dióxido de carbono.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 8  | 54.8016   | 6.8502    | 230.6   | 0       |
| Error  | 18 | 0.5347    | 0.02971   |         |         |
| Total  | 26 | 55.3363   |           |         |         |

**ANEXO 56. Prueba LSD para la tasa de respiración en términos de generación de dióxido de carbono.**

| Factor                               | N | Media   | Agrupación |   |   |
|--------------------------------------|---|---------|------------|---|---|
| Recubrimiento ACIM - CO <sub>2</sub> | 3 | 10.85   | A          |   |   |
| Recubrimiento ACLM - CO <sub>2</sub> | 3 | 10.7806 | A          |   |   |
| Recubrimiento APLM - CO <sub>2</sub> | 3 | 10.705  | A          |   |   |
| Recubrimiento APIM - CO <sub>2</sub> | 3 | 10.1245 | B          |   |   |
| SR - CO <sub>2</sub>                 | 3 | 9.932   | B          | C |   |
| Recubrimiento ACI - CO <sub>2</sub>  | 3 | 9.7795  |            | C |   |
| Recubrimiento API - CO <sub>2</sub>  | 3 | 7.5136  |            |   | D |
| Recubrimiento ACL - CO <sub>2</sub>  | 3 | 7.5136  |            |   | D |
| Recubrimiento APL - CO <sub>2</sub>  | 3 | 7.2814  |            |   | D |

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

**ANEXO 57. Análisis de ANOVA para el coeficiente respiratorio.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 8  | 0.099001  | 0.012375  | 160.99  | 0       |
| Error  | 18 | 0.001384  | 0.000077  |         |         |
| Total  | 26 | 0.100385  |           |         |         |

**ANEXO 58. Prueba LSD para el coeficiente respiratorio.**

| Factor                  | N | Media | Agrupación |  |   |
|-------------------------|---|-------|------------|--|---|
| Recubrimiento ACIM - CR | 3 | 0.47  | A          |  |   |
| Recubrimiento APLM - CR | 3 | 0.46  | A          |  |   |
| Recubrimiento ACLM - CR | 3 | 0.46  | A          |  |   |
| Recubrimiento APIM - CR | 3 | 0.44  | B          |  |   |
| Recubrimiento ACI - CR  | 3 | 0.43  | B          |  |   |
| SR - CR                 | 3 | 0.43  | B          |  |   |
| Recubrimiento ACL - CR  | 3 | 0.33  |            |  | C |
| Recubrimiento API - CR  | 3 | 0.32  |            |  | C |
| Recubrimiento APL - CR  | 3 | 0.32  |            |  | C |

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

**ANEXO 59. Análisis de ANOVA para la permeabilidad al vapor de agua de recubrimientos comestibles de almidón nativo y modificado de papa y chuño.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 7  | 3362.4    | 480.341   | 73.64   | 0.000   |
| Error  | 16 | 104.4     | 6.523     |         |         |
| Total  | 23 | 3466.7    |           |         |         |

**ANEXO 60. Prueba LSD para la permeabilidad al vapor de agua de recubrimientos comestibles de almidón nativo y modificado de papa y chuño.**

| Factor                   | N | Media  | Agrupación |
|--------------------------|---|--------|------------|
| Recubrimiento ACI - PVA  | 3 | 86.567 | A          |
| Recubrimiento ACL - PVA  | 3 | 82.03  | B          |
| Recubrimiento ACIM - PVA | 3 | 76.73  | C          |
| Recubrimiento ACLM - PVA | 3 | 72.77  | C          |
| Recubrimiento API - PVA  | 3 | 66.800 | D          |
| Recubrimiento APL - PVA  | 3 | 63.53  | D          |
| Recubrimiento APIM - PVA | 3 | 53.57  | E          |
| Recubrimiento APLM - PVA | 3 | 51.800 | E          |

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

**ANEXO 61. Análisis de ANOVA para el porcentaje de pérdida de peso de las fresas con y sin recubrimiento en el día 4.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 8  | 0.8167    | 0.10209   | 1.67    | 0.175   |
| Error  | 18 | 1.1021    | 0.06123   |         |         |
| Total  | 26 | 1.9188    |           |         |         |

**ANEXO 62. Prueba LSD para el porcentaje de pérdida de peso de las fresas con y sin recubrimiento en el día 4.**

| Factor                          | N | Media  | Agrupación |   |   |
|---------------------------------|---|--------|------------|---|---|
| Control Pérdida de peso % día 4 | 3 | 2.300  | A          |   |   |
| API Pérdida de peso % día 4     | 3 | 2.2000 | A          | B |   |
| ACI Pérdida de peso % día 4     | 3 | 2.067  | A          | B | C |
| APL Pérdida de peso % día 4     | 3 | 2.033  | A          | B | C |
| ACL Pérdida de peso % día 4     | 3 | 2.033  | A          | B | C |
| APIM Pérdida de peso % día 4    | 3 | 1.9033 | A          | B | C |
| ACLM Pérdida de peso % día 4    | 3 | 1.833  |            | B | C |
| ACIM Pérdida de peso % día 4    | 3 | 1.833  |            | B | C |
| APLM Pérdida de peso % día 4    | 3 | 1.7333 |            |   | C |

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

**ANEXO 63. Análisis de ANOVA para el porcentaje de pérdida de peso de las fresas con y sin recubrimiento en el día 8.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 8  | 21.859    | 2.73243   | 35.58   | 0.000   |
| Error  | 18 | 1.382     | 0.07680   |         |         |
| Total  | 26 | 23.242    |           |         |         |

**ANEXO 64. Prueba LSD para el porcentaje de pérdida de peso de las fresas con y sin recubrimiento en el día 8.**

| Factor                          | N | Media  | Agrupación |   |   |
|---------------------------------|---|--------|------------|---|---|
| Control Pérdida de peso % día 8 | 3 | 8.033  | A          |   |   |
| ACL Pérdida de peso % día 8     | 3 | 6.467  |            | B |   |
| ACI Pérdida de peso % día 8     | 3 | 6.133  |            | B |   |
| API Pérdida de peso % día 8     | 3 | 5.567  |            |   | C |
| APL Pérdida de peso % día 8     | 3 | 5.367  |            |   | C |
| APIM Pérdida de peso % día 8    | 3 | 5.2333 |            |   | C |
| ACLM Pérdida de peso % día 8    | 3 | 5.2167 |            |   | C |
| APLM Pérdida de peso % día 8    | 3 | 5.1667 |            |   | C |
| ACIM Pérdida de peso % día 8    | 3 | 5.1367 |            |   | C |

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

**ANEXO 65. Análisis de ANOVA para el porcentaje de pérdida de peso de las fresas con y sin recubrimiento en el día 12.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 8  | 29.715    | 3.7144    | 18.03   | 0.000   |
| Error  | 18 | 3.707     | 0.2060    |         |         |
| Total  | 26 | 33.422    |           |         |         |

**ANEXO 66. Prueba LSD para el porcentaje de pérdida de peso de las fresas con y sin recubrimiento en el día 12.**

| Factor                        | N | Media  | Agrupación |   |   |   |   |
|-------------------------------|---|--------|------------|---|---|---|---|
| Control Pérdida peso % día 12 | 3 | 9.803  | A          |   |   |   |   |
| APL Pérdida peso % día 12     | 3 | 7.953  | B          |   |   |   |   |
| ACL Pérdida peso % día 12     | 3 | 7.747  | B          | C |   |   |   |
| API Pérdida peso % día 12     | 3 | 7.300  | B          | C |   |   |   |
| ACI Pérdida peso % día 12     | 3 | 7.247  | B          | C | D |   |   |
| APLM Pérdida peso % día 12    | 3 | 6.973  | C          |   |   | D | E |
| ACLM Pérdida peso % día 12    | 3 | 6.520  | D          |   |   | E | F |
| APIM Pérdida peso % día 12    | 3 | 6.3700 | E          |   |   | F |   |
| ACIM Pérdida peso % día 12    | 3 | 6.100  | F          |   |   | F |   |

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

**ANEXO 67. Análisis de ANOVA para la acidez de las fresas con y sin recubrimiento en el día 0.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 8  | 0.1321    | 0.01651   | 1.35    | 0.284   |
| Error  | 18 | 0.2207    | 0.01226   |         |         |
| Total  | 26 | 0.3528    |           |         |         |

**ANEXO 68. Prueba LSD para la acidez de las fresas con y sin recubrimiento en el día 0.**

| Factor               | N | Media  | Agrupación |   |
|----------------------|---|--------|------------|---|
| APIM acidez día 0    | 3 | 1.6500 | A          |   |
| ACI acidez día 0     | 3 | 1.5733 | A          | B |
| APL acidez día 0     | 3 | 1.5733 | A          | B |
| API acidez día 0     | 3 | 1.5667 | A          | B |
| APLM acidez día 0    | 3 | 1.5567 | A          | B |
| ACLM acidez día 0    | 3 | 1.5167 | A          | B |
| ACL acidez día 0     | 3 | 1.4933 | A          | B |
| Control acidez día 0 | 3 | 1.4867 | A          | B |
| ACIM acidez día 0    | 3 | 1.387  |            | B |

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

**ANEXO 69. Análisis de ANOVA para la acidez de las fresas con y sin recubrimiento en el día 4.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 8  | 0.30232   | 0.037790  | 11.71   | 0.000   |
| Error  | 18 | 0.05807   | 0.003226  |         |         |
| Total  | 26 | 0.36039   |           |         |         |

**ANEXO 70. Prueba LSD para la acidez de las fresas con y sin recubrimiento en el día 4.**

| Factor               | N | Media   | Agrupación |   |
|----------------------|---|---------|------------|---|
| APIM acidez día 4    | 3 | 1.4467  | A          |   |
| ACI acidez día 4     | 3 | 1.4267  | A          | B |
| API acidez día 4     | 3 | 1.3533  | A          | B |
| ACLM acidez día 4    | 3 | 1.3433  |            | B |
| APL acidez día 4     | 3 | 1.3433  |            | B |
| APLM acidez día 4    | 3 | 1.34000 |            | B |
| ACL acidez día 4     | 3 | 1.2400  |            | C |
| ACIM acidez día 4    | 3 | 1.2167  |            | C |
| Control acidez día 4 | 3 | 1.0867  |            | D |

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

**ANEXO 71. Análisis de ANOVA para la acidez de las fresas con y sin recubrimiento en el día 8.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 8  | 0.5989    | 0.07486   | 6.85    | 0.000   |
| Error  | 18 | 0.1966    | 0.01092   |         |         |
| Total  | 26 | 0.7955    |           |         |         |

**ANEXO 72. Prueba LSD para la acidez de las fresas con y sin recubrimiento en el día 8.**

| Factor               | N | Media   | Agrupación |   |   |
|----------------------|---|---------|------------|---|---|
| ACI acidez día 8     | 3 | 1.1800  | A          |   |   |
| ACL acidez día 8     | 3 | 1.0967  | A          |   |   |
| APL acidez día 8     | 3 | 1.037   | A          | B |   |
| API acidez día 8     | 3 | 1.02667 | A          | B |   |
| APIM acidez día 8    | 3 | 0.8933  |            | B | C |
| APLM acidez día 8    | 3 | 0.8633  |            | B | C |
| ACIM acidez día 8    | 3 | 0.8467  |            |   | C |
| Control acidez día 8 | 3 | 0.7400  |            |   | C |
| ACLM acidez día 8    | 3 | 0.7300  |            |   | C |

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

**ANEXO 73. Análisis de ANOVA para la acidez de las fresas con y sin recubrimiento en el día 12.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 8  | 0.70487   | 0.088109  | 57.32   | 0.000   |
| Error  | 18 | 0.02767   | 0.001537  |         |         |
| Total  | 26 | 0.73254   |           |         |         |

**ANEXO 74. Prueba LSD para la acidez de las fresas con y sin recubrimiento en el día 12.**

| Factor                | N | Media   | Agrupación |   |     |
|-----------------------|---|---------|------------|---|-----|
| ACI acidez día 12     | 3 | 0.9967  | A          |   |     |
| ACLM acidez día 12    | 3 | 0.8867  |            | B |     |
| APIM acidez día 12    | 3 | 0.8667  |            | B |     |
| ACL acidez día 12     | 3 | 0.8600  |            | B | C   |
| ACIM acidez día 12    | 3 | 0.7933  |            |   | C D |
| APL acidez día 12     | 3 | 0.79333 |            |   | C D |
| API acidez día 12     | 3 | 0.79333 |            |   | C D |
| APLM acidez día 12    | 3 | 0.7267  |            |   | D   |
| Control acidez día 12 | 3 | 0.3800  |            |   | E   |

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

**ANEXO 75. Análisis de ANOVA para el pH de las fresas con y sin recubrimiento en el día 0.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 8  | 0.64060   | 0.080075  | 98.72   | 0.000   |
| Error  | 18 | 0.01460   | 0.000811  |         |         |
| Total  | 26 | 0.65520   |           |         |         |

**ANEXO 76. Prueba LSD para el pH de las fresas con y sin recubrimiento en el día 0.**

| Factor           | N | Media   | Agrupación |   |   |
|------------------|---|---------|------------|---|---|
| APLM pH día 0    | 3 | 3.9100  | A          |   |   |
| APL pH día 0     | 3 | 3.9067  | A          |   |   |
| ACL pH día 0     | 3 | 3.82667 |            | B |   |
| APIM pH día 0    | 3 | 3.6467  |            |   | C |
| ACIM pH día 0    | 3 | 3.6433  |            |   | C |
| ACLM pH día 0    | 3 | 3.6033  |            |   | C |
| ACI pH día 0     | 3 | 3.5333  |            |   | D |
| API pH día 0     | 3 | 3.5200  |            |   | D |
| Control pH día 0 | 3 | 3.50000 |            |   | D |

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

**ANEXO 77. Análisis de ANOVA para el pH de las fresas con y sin recubrimiento en el día 4.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 8  | 0.596800  | 0.074600  | 186.50  | 0.000   |
| Error  | 18 | 0.007200  | 0.000400  |         |         |
| Total  | 26 | 0.604000  |           |         |         |

**ANEXO 78. Prueba LSD para el pH de las fresas con y sin recubrimiento en el día 4.**

| Factor           | N | Media   | Agrupación |   |   |
|------------------|---|---------|------------|---|---|
| ACL pH día 4     | 3 | 3.9300  | A          |   |   |
| APLM pH día 4    | 3 | 3.8300  | B          |   |   |
| ACLM pH día 4    | 3 | 3.6367  | C          |   |   |
| ACIM pH día 4    | 3 | 3.62667 | C          |   |   |
| ACI pH día 4     | 3 | 3.55000 | D          |   |   |
| APIM pH día 4    | 3 | 3.5367  | D          | E |   |
| Control pH día 4 | 3 | 3.5333  | D          | E |   |
| API pH día 4     | 3 | 3.51333 |            | E |   |
| APL pH día 4     | 3 | 3.45333 |            |   | F |

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

**ANEXO 79. Análisis de ANOVA para el pH de las fresas con y sin recubrimiento en el día 8.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 8  | 1.95861   | 0.244826  | 440.69  | 0.000   |
| Error  | 18 | 0.01000   | 0.000556  |         |         |
| Total  | 26 | 1.96861   |           |         |         |

**ANEXO 80. Prueba LSD para el pH de las fresas con y sin recubrimiento en el día 8.**

| Factor           | N | Media   | Agrupación |   |   |
|------------------|---|---------|------------|---|---|
| ACL pH día 8     | 3 | 4.1467  | A          |   |   |
| ACLM pH día 8    | 3 | 3.5433  |            | B |   |
| APLM pH día 8    | 3 | 3.5333  |            | B |   |
| APL pH día 8     | 3 | 3.4167  |            |   | C |
| Control pH día 8 | 3 | 3.4100  |            |   | C |
| ACI pH día 8     | 3 | 3.3800  |            | C | D |
| APIM pH día 8    | 3 | 3.36667 |            |   | D |
| API pH día 8     | 3 | 3.3167  |            |   | E |
| ACIM pH día 8    | 3 | 3.10000 |            |   | F |

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

**ANEXO 81. Análisis de ANOVA para el pH de las fresas con y sin recubrimiento en el día 12.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 8  | 0.716496  | 0.089562  | 254.54  | 0.000   |
| Error  | 18 | 0.006333  | 0.000352  |         |         |
| Total  | 26 | 0.722830  |           |         |         |

**ANEXO 82. Prueba LSD para el pH de las fresas con y sin recubrimiento en el día 12.**

| Factor            | N | Media   | Agrupación |   |   |
|-------------------|---|---------|------------|---|---|
| ACI pH día 12     | 3 | 3.5067  | A          |   |   |
| ACL pH día 12     | 3 | 3.49667 | A          |   |   |
| ACIM pH día 12    | 3 | 3.49333 | A          |   |   |
| APIM pH día 12    | 3 | 3.29333 |            | B |   |
| Control pH día 12 | 3 | 3.23333 |            |   | C |
| API pH día 12     | 3 | 3.20000 |            |   | D |
| APL pH día 12     | 3 | 3.1767  |            |   | D |
| ACLM pH día 12    | 3 | 3.1233  |            |   | E |
| APLM pH día 12    | 3 | 3.05333 |            |   | F |

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

**ANEXO 83. Análisis de ANOVA para los °brix de las fresas con y sin recubrimiento en el día 0.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 8  | 2.9600    | 0.37000   | 8.47    | 0.000   |
| Error  | 18 | 0.7867    | 0.04370   |         |         |
| Total  | 26 | 3.7467    |           |         |         |

**ANEXO 84. Prueba LSD para los °brix de las fresas con y sin recubrimiento en el día 0.**

| Factor              | N | Media  | Agrupación |   |   |
|---------------------|---|--------|------------|---|---|
| API °Brix día 0     | 3 | 8.433  | A          |   |   |
| APIM °Brix día 0    | 3 | 7.9667 | B          |   |   |
| ACLM °Brix día 0    | 3 | 7.900  | B          | C |   |
| ACL °Brix día 0     | 3 | 7.600  |            | C | D |
| ACI °Brix día 0     | 3 | 7.567  |            | C | D |
| APLM °Brix día 0    | 3 | 7.500  |            |   | D |
| APL °Brix día 0     | 3 | 7.5000 |            |   | D |
| Control °Brix día 0 | 3 | 7.4333 |            |   | D |
| ACIM °Brix día 0    | 3 | 7.300  |            |   | D |

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

**ANEXO 85. Análisis de ANOVA para los °brix de las fresas con y sin recubrimiento en el día 4.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 8  | 3.2052    | 0.400648  | 56.93   | 0.000   |
| Error  | 18 | 0.1267    | 0.007037  |         |         |
| Total  | 26 | 3.3319    |           |         |         |

**ANEXO 86. Prueba LSD para los °brix de las fresas con y sin recubrimiento en el día 4.**

| Factor              | N | Media  | Agrupación |   |     |
|---------------------|---|--------|------------|---|-----|
| API °Brix día 4     | 3 | 8.3333 | A          |   |     |
| APIM °Brix día 4    | 3 | 7.8333 |            | B |     |
| Control °Brix día 4 | 3 | 7.6333 |            |   | C   |
| ACL °Brix día 4     | 3 | 7.4667 |            |   | D   |
| ACI °Brix día 4     | 3 | 7.3667 |            |   | D E |
| APL °Brix día 4     | 3 | 7.3667 |            |   | D E |
| ACLM °Brix día 4    | 3 | 7.3000 |            |   | E   |
| APLM °Brix día 4    | 3 | 7.3000 |            |   | E   |
| ACIM °Brix día 4    | 3 | 7.1333 |            |   | F   |

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

**ANEXO 87. Análisis de ANOVA para los °brix de las fresas con y sin recubrimiento en el día 8.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 8  | 2.2600    | 0.282500  | 31.78   | 0.000   |
| Error  | 18 | 0.1600    | 0.008889  |         |         |
| Total  | 26 | 2.4200    |           |         |         |

**ANEXO 88. Prueba LSD para los °brix de las fresas con y sin recubrimiento en el día 8.**

| Factor              | N | Media  | Agrupación |   |     |
|---------------------|---|--------|------------|---|-----|
| API °Brix día 8     | 3 | 8.1000 | A          |   |     |
| ACLM °Brix día 8    | 3 | 7.6333 |            | B |     |
| APIM °Brix día 8    | 3 | 7.5667 |            | B |     |
| ACIM °Brix día 8    | 3 | 7.5000 |            | B |     |
| APLM °Brix día 8    | 3 | 7.300  |            |   | C   |
| Control °Brix día 8 | 3 | 7.2667 |            |   | C D |
| APL °Brix día 8     | 3 | 7.2333 |            |   | C D |
| ACL °Brix día 8     | 3 | 7.1667 |            |   | C D |
| ACI °Brix día 8     | 3 | 7.1333 |            |   | D   |

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

**ANEXO 89. Análisis de ANOVA para los °brix de las fresas con y sin recubrimiento en el día 12.**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Factor | 8  | 3.11852   | 0.389815  | 105.25  | 0.000   |
| Error  | 18 | 0.06667   | 0.003704  |         |         |
| Total  | 26 | 3.18519   |           |         |         |

**ANEXO 90. Prueba LSD para los °brix de las fresas con y sin recubrimiento en el día 12.**

| Factor               | N | Media  | Agrupación |   |     |
|----------------------|---|--------|------------|---|-----|
| API °Brix día 12     | 3 | 7.8667 | A          |   |     |
| APIM °Brix día 12    | 3 | 7.500  |            | B |     |
| ACLM °Brix día 12    | 3 | 7.1667 |            |   | C   |
| ACIM °Brix día 12    | 3 | 7.1333 |            |   | C   |
| ACI °Brix día 12     | 3 | 7.1333 |            |   | C   |
| APLM °Brix día 12    | 3 | 7.1000 |            |   | C   |
| Control °Brix día 12 | 3 | 6.8667 |            |   | D   |
| APL °Brix día 12     | 3 | 6.7667 |            |   | D E |
| ACL °Brix día 12     | 3 | 6.7333 |            |   | E   |

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

**ANEXO 91. Fotografías de la elaboración de chuño a partir de las variedades de papa imilla negra y locka.**

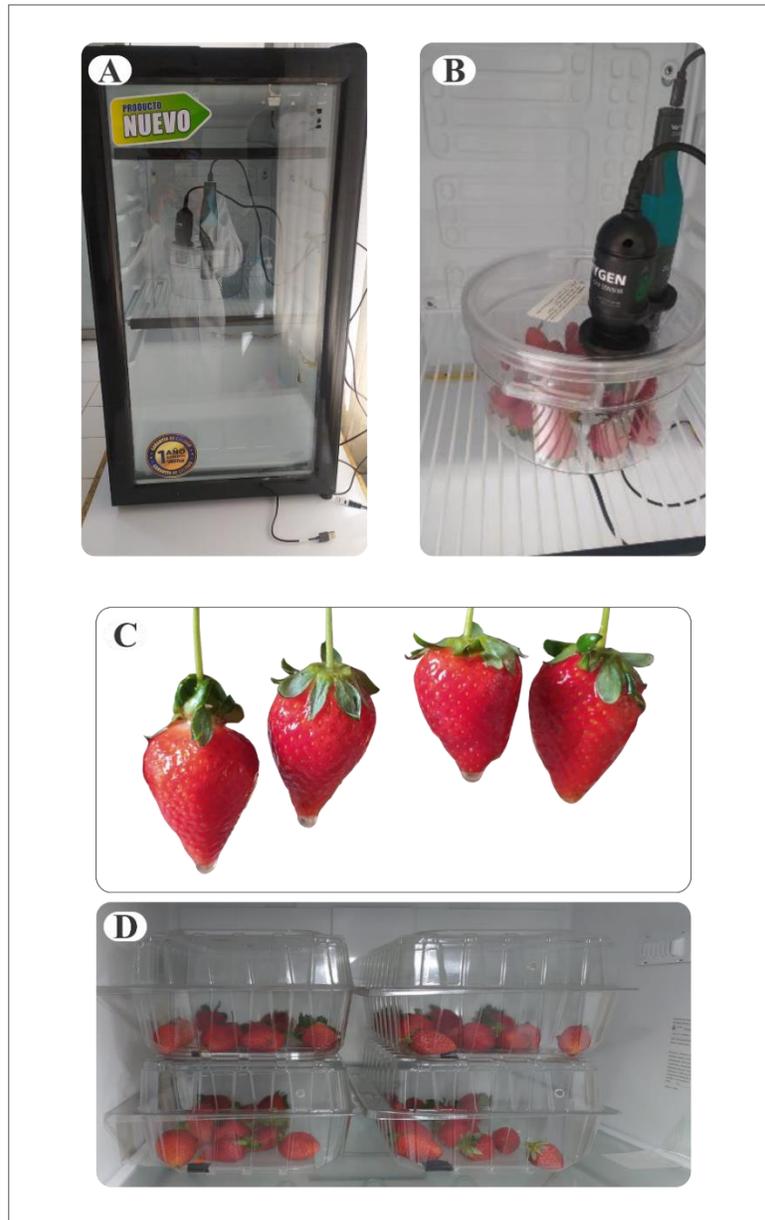


**Donde: Elaboración de chuño (A), congelado de papa Imilla Negra (B), congelado de papa Locka, (C) y (D) descongelado de papa Imilla negra y Locka, (E) y (F) secado de chuño.**

**ANEXO 92. Fotografías de la extracción de almidón.**



**ANEXO 93. Fotografías de la tasa de respiración y vida útil en fresas con y sin recubrimiento.**



**Donde: Tasa de respiración y vida útil, (A) Acondicionamiento de refrigeradora para la determinación de tasa de respiración en laboratorios de la Universidad Peruana Unión, (B) determinación de tasa de respiración en laboratorios de la Universidad Peruana Unión, (C) aplicación de recubrimiento a fresas, (D) almacenamiento de fresas con y sin recubrimiento a 5°C para la determinación de vida útil.**

## **ANEXO 94. Metodologías para la determinación de la composición proximal.**

### **- Composición proximal**

**- Para la determinación de humedad (método gravimétrico) se realizó mediante método (AOAC, 2005).**

Preparación de la muestra:

En una placa Petri se pesó 5 gramos de muestra.

Luego, en una estufa se colocaron las muestras del tratamiento correspondientes y se programó a una temperatura de 100 °C.

Las muestras del tratamiento correspondiente se retiraron de la estufa y se colocaron en una campana desecadora por un tiempo de 2 horas para que se enfríen.

Posterior a ello, las muestras del tratamiento correspondiente se colocaron en una balanza analítica y se anotó el peso.

La fórmula que se utilizó se muestra a continuación:

$$\% \text{ MS} = \left( \frac{\text{Peso final (placa + muestra)} + \text{peso de la placa}}{\text{Peso de la muestra}} \right) * 100$$
$$\% \text{ H} = 100\% - \% \text{ MS}$$

**- Para la determinación de cenizas (método de incineración), se realizó mediante método (AOAC, 2005).**

Preparación de materiales:

Se utilizaron crisoles previamente lavados con agua destilada.

Los crisoles fueron colocados en una estufa por un tiempo de 2 horas.

Luego del proceso de secado los crisoles fueron retirados de la estufa con el uso de pinzas.

Los crisoles secados fueron colocados en una campana desecadora

Preparación de la muestra:

Se pesaron 3 gramos de muestra del tratamiento correspondiente.

Las muestras del tratamiento correspondiente fueron colocadas a una mufla, se programó durante 6 horas a una temperatura de 600 °C.

Luego de este proceso, las muestras del tratamiento correspondiente se dejaron enfriar durante 6 horas.

Las muestras previamente frías, fueron retiradas de la estufa con el uso de pinzas y se colocaron en una campana de desecación.

Las muestras del tratamiento correspondiente dejaron en reposo durante 2 horas, luego se utilizó una balanza para obtener el peso.

Se utilizó la siguiente fórmula para realizar los cálculos correspondientes:

$$\% \text{ de ceniza} = \left( \frac{\text{Peso final (crisol+ muestra)+ peso de crisol}}{\text{Peso de la muestra}} \right) * 100$$

**- Para la determinación de proteína total (método de Kjeldahl N x 6.25), se realizó mediante método (AOAC, 2005).**

Se utilizaron 0.5 gramos de muestra para los tratamientos correspondientes, estas muestras fueron colocadas en un frasco digestor.

Para el análisis correspondiente se utilizaron catalizador (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+CuSO<sub>4</sub>) y ácido sulfúrico concentrado, 0.20 gramos y 8 ml respectivamente.

Se utilizó una cabina de extracción para el proceso de digestión correspondiente, dicho proceso concluyó cuando se observó una coloración manzana transparente.

Luego añadió 150ml de agua y 14 ml de NaOH AL 50 %.

Después se realizó el proceso de destilación por un tiempo de 40 minutos.

Se utilizó 6ml de ácido bórico al 4 % con indicador azul de metileno y rojo de metilo para recoger el destilado correspondiente. Después del proceso de destilación se realizó la valoración con el uso de ácido sulfúrico 0.02N.

Con la siguiente fórmula se realizaron los cálculos correspondientes.

$$\% \text{Proteína} = \left( \frac{V * N * 1.4}{\text{g de muestra}} \right)$$

Dónde:

V: Volumen de ácido sulfúrico utilizado en la valoración.

N: Normalidad del Ácido.

% proteína = % N x Factor.

Factor: El factor para la presente determinación es de 6.25

**- Para la determinación de grasa (método de Soxhlet), se realizó mediante el método (AOAC, 2005).**

Se utilizaron 5 gramos de muestra del tratamiento correspondiente, estas muestras fueron colocadas en un cartucho de papel filtro.

Luego se colocaron en el equipo Soxhlet adicionando el solvente correspondiente para lograr la extracción de grasa en un balón por un tiempo de 1 hora.

El proceso dura hasta que el solvente se evapore y luego se realiza el pesado correspondiente.

Se utilizó la siguiente fórmula para los cálculos respectivos:

$$\% \text{Grasa} = \left( \frac{P2 - P1}{Pm} \right) * 100$$

Dónde:

P1: Peso en gramos del balón recolector vacío que hace parte del equipo extractor.

P2: Peso en gramos del balón que contiene la grasa extraída.

Pm: Peso en gramos de la muestra.

**- Para la determinación de fibra cruda, se realizó mediante el método (AOAC, 2005).**

Se utilizaron 2 gramos de muestra para el tratamiento correspondiente, dicha muestra fue colocada en papel filtro con la finalidad de desengrasar con éter.

Se utilizó ácido sulfúrico al 1.25 %, se agregó 200 ml del reactivo mencionado.

Se realizó el calentamiento por un tiempo de 30 minutos.

Haciendo uso de una tela en un buchner se realizó el filtrado sin dejar enfriar, seguido de esto, se realizó el lavado con agua caliente.

El material obtenido se volvió a añadir al vaso precipitado adicionando 200 ml NaOH al 1.25%.

Luego se volvió a calentar por un tiempo de 30 minutos.

Después del proceso de calentado se realizó el filtrado sin dejar enfriar, seguido de esto, se realizó el lavado con agua caliente.

En un crisol se realizó el filtrado del residuo el cual fue preparado con asbesto previamente.

En una estufa se colocó el crisol con la muestra anteriormente mencionada, se dejó reposar hasta alcanzar un peso de forma constante, la temperatura que se programó fue de 110 °C, luego se dejó enfriar para realizar el pesado correspondiente.

Luego el crisol de la muestra correspondiente se calcinó haciendo uso de la mufla a una temperatura de 550 °C durante 2 horas.

La fibra es representada por la diferencia de los pesos antes de la calcinación y después de la calcinación de la muestra correspondiente.

Se utilizó la siguiente fórmula para la determinación correspondiente:

$$\%FC = \left( \frac{P1-P2}{Pm} \right) * 100$$

## **ANEXO 95. Comportamiento reológico de los geles de almidón.**

Las mediciones reológicas se determinaron mediante el uso del Reómetro, con algunas modificaciones.

### **- Comportamiento del flujo**

Se utilizó la metodología descrita por Augusto *et al.* (2012) con ligeras modificaciones. La muestra fue sometida a un cizallamiento a  $300\text{ s}^{-1}$  durante 10 minutos para evitar cualquier tixotropía. Luego, sobre la misma muestra se llevó a cabo los experimentos de cizallamiento en estado estacionario, en el intervalo de velocidad de cizallamiento ( $\dot{\gamma}$ ) de 0 a  $100\text{ s}^{-1}$  y de  $100$  a  $0\text{ s}^{-1}$ . Las curvas de flujo resultantes fueron descritas por el modelo de ley de Herschel-Bulkley:

$$\sigma = \sigma_0 + k\dot{\gamma}^n$$

donde:  $\sigma$  es el esfuerzo cortante (Pa),  $\sigma_0$  es el umbral de fluencia (Pa),  $\dot{\gamma}$  es la velocidad de cizalla ( $\text{s}^{-1}$ ),  $k$  es el coeficiente de consistencia ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ ) y  $n$  es el índice reológico (adimensional).

**ANEXO 96. Absorbancia 620 nm de las muestras de almidón nativo y modificado de papa y chuño.**

| Muestra  | N° de Réplica | Absorbancia 620 nm |
|----------|---------------|--------------------|
| APL      | R1            | 0.6189             |
|          | R2            | 0.6190             |
|          | R3            | 0.6204             |
|          | Promedio      | 0.6194             |
| APL 5ML  | R1            | 0.6308             |
|          | R2            | 0.6305             |
|          | R3            | 0.6308             |
|          | Promedio      | 0.6307             |
| APL 10ML | R1            | 0.6357             |
|          | R2            | 0.6376             |
|          | R3            | 0.6363             |
|          | Promedio      | 0.6365             |
| APL 15ML | R1            | 0.6591             |
|          | R2            | 0.6589             |
|          | R3            | 0.6592             |
|          | Promedio      | 0.6590             |
| API      | R1            | 0.6990             |
|          | R2            | 0.6983             |
|          | R3            | 0.6978             |
|          | Promedio      | 0.6984             |
| API 5ML  | R1            | 0.7061             |
|          | R2            | 0.7063             |
|          | R3            | 0.7058             |
|          | Promedio      | 0.7060             |
| API 10ML | R1            | 0.7517             |
|          | R2            | 0.7534             |
|          | R3            | 0.7518             |
|          | Promedio      | 0.7523             |

<<continuación>>

|          |          |        |
|----------|----------|--------|
|          | R1       | 0.7702 |
| API 15ML | R2       | 0.7723 |
|          | R3       | 0.7685 |
|          | Promedio | 0.7703 |
|          | <hr/>    |        |
| ACL      | R1       | 0.5533 |
|          | R2       | 0.5536 |
|          | R3       | 0.5530 |
|          | Promedio | 0.5533 |
| <hr/>    |          |        |
| ACL 5ML  | R1       | 0.5858 |
|          | R2       | 0.5859 |
|          | R3       | 0.5892 |
|          | Promedio | 0.5870 |
| <hr/>    |          |        |
| ACL 10ML | R1       | 0.6172 |
|          | R2       | 0.6228 |
|          | R3       | 0.6213 |
|          | Promedio | 0.6204 |
| <hr/>    |          |        |
| ACL 15ML | R1       | 0.6357 |
|          | R2       | 0.6341 |
|          | R3       | 0.6377 |
|          | Promedio | 0.6358 |
| <hr/>    |          |        |
| ACI      | R1       | 0.5910 |
|          | R2       | 0.5908 |
|          | R3       | 0.5900 |
|          | Promedio | 0.5906 |
| <hr/>    |          |        |
| ACI 5ML  | R1       | 0.5974 |
|          | R2       | 0.5949 |
|          | R3       | 0.5927 |
|          | Promedio | 0.5950 |
| <hr/>    |          |        |
| ACI 10ML | R1       | 0.6256 |
|          | R2       | 0.6234 |
|          | R3       | 0.6194 |
|          | Promedio | 0.6228 |
| <hr/>    |          |        |
| ACI 15ML | R1       | 0.6424 |
|          | R2       | 0.6357 |
|          | R3       | 0.6360 |
|          | Promedio | 0.6381 |
| <hr/>    |          |        |

Donde:

APL: Almidón de papa Locka.

- APL5: Almidón de papa Locka modificado con 5 ml de anhídrido acético.
- APL10: Almidón de papa Locka modificado con 10 ml de anhídrido acético.
- APL15: Almidón de papa Locka modificado con 15 ml de anhídrido acético.
- API: Almidón de papa Imilla Negra.
- API5: Almidón de papa Imilla Negra modificado con 5 ml de anhídrido acético.
- API10: Almidón de papa Imilla Negra modificado con 10 ml de anhídrido acético.
- API15: Almidón de papa Imilla Negra modificado con 15 ml de anhídrido acético.
- Luego tenemos a los almidones de chuños nativos y modificados:
- ACL: Almidón de chuño Locka.
- ACL5: Almidón de chuño Locka modificado con 5 ml de anhídrido acético.
- ACL10: Almidón de chuño Locka modificado con 10 ml de anhídrido acético.
- ACL15: Almidón de chuño Locka modificado con 15 ml de anhídrido acético.
- ACI: Almidón de chuño Imilla Negra.
- ACI5: Almidón de chuño Imilla Negra modificado con 5 ml de anhídrido acético.
- ACI10: Almidón de chuño Imilla Negra modificado con 10 ml de anhídrido acético.
- ACI15: Almidón de chuño Imilla Negra modificado con 15 ml de anhídrido acético.

**ANEXO 97. Contenido de amilosa de almidones nativos y modificado de papa y chuño.**

| Muestra  | N° de Réplica | % Amilosa |
|----------|---------------|-----------|
| APL      | R1            | 24.11     |
|          | R2            | 24.12     |
|          | R3            | 24.20     |
|          | Promedio      | 24.14     |
| APL 5ML  | R1            | 24.82     |
|          | R2            | 24.80     |
|          | R3            | 24.82     |
|          | Promedio      | 24.81     |
| APL 10ML | R1            | 25.11     |
|          | R2            | 25.23     |
|          | R3            | 25.15     |
|          | Promedio      | 25.16     |
| APL 15ML | R1            | 26.51     |
|          | R2            | 26.49     |
|          | R3            | 26.51     |
|          | Promedio      | 26.50     |
| API      | R1            | 28.88     |
|          | R2            | 28.84     |
|          | R3            | 28.81     |
|          | Promedio      | 28.84     |
| API 5ML  | R1            | 29.30     |
|          | R2            | 29.31     |
|          | R3            | 29.28     |
|          | Promedio      | 29.30     |
| API 10ML | R1            | 32.01     |
|          | R2            | 32.12     |
|          | R3            | 32.02     |
|          | Promedio      | 32.05     |

<<continuación>>

|          |          |       |
|----------|----------|-------|
| API 15ML | R1       | 33.12 |
|          | R2       | 33.25 |
|          | R3       | 33.02 |
|          | Promedio | 33.13 |
| ACL      | R1       | 20.21 |
|          | R2       | 20.23 |
|          | R3       | 20.19 |
|          | Promedio | 20.21 |
| ACL 5ML  | R1       | 22.14 |
|          | R2       | 22.15 |
|          | R3       | 22.35 |
|          | Promedio | 22.21 |
| ACL 10ML | R1       | 24.01 |
|          | R2       | 24.35 |
|          | R3       | 24.26 |
|          | Promedio | 24.21 |
| ACL 15ML | R1       | 25.11 |
|          | R2       | 25.02 |
|          | R3       | 25.23 |
|          | Promedio | 25.12 |
| ACI      | R1       | 22.45 |
|          | R2       | 22.44 |
|          | R3       | 22.39 |
|          | Promedio | 22.43 |
| ACI 5ML  | R1       | 22.83 |
|          | R2       | 22.68 |
|          | R3       | 22.55 |
|          | Promedio | 22.69 |
| ACI 10ML | R1       | 24.51 |
|          | R2       | 24.38 |
|          | R3       | 24.14 |
|          | Promedio | 24.35 |
| ACI 15ML | R1       | 25.51 |
|          | R2       | 25.12 |
|          | R3       | 25.13 |
|          | Promedio | 25.25 |

Donde:

APL: Almidón de papa Locka.

- APL5: Almidón de papa Locka modificado con 5 ml de anhídrido acético.
- APL10: Almidón de papa Locka modificado con 10 ml de anhídrido acético.
- APL15: Almidón de papa Locka modificado con 15 ml de anhídrido acético.
- API: Almidón de papa Imilla Negra.
- API5: Almidón de papa Imilla Negra modificado con 5 ml de anhídrido acético.
- API10: Almidón de papa Imilla Negra modificado con 10 ml de anhídrido acético.
- API15: Almidón de papa Imilla Negra modificado con 15 ml de anhídrido acético.
- Luego tenemos a los almidones de chuños nativos y modificados:
- ACL: Almidón de chuño Locka.
- ACL5: Almidón de chuño Locka modificado con 5 ml de anhídrido acético.
- ACL10: Almidón de chuño Locka modificado con 10 ml de anhídrido acético.
- ACL15: Almidón de chuño Locka modificado con 15 ml de anhídrido acético.
- ACI: Almidón de chuño Imilla Negra.
- ACI5: Almidón de chuño Imilla Negra modificado con 5 ml de anhídrido acético.
- ACI10: Almidón de chuño Imilla Negra modificado con 10 ml de anhídrido acético.
- ACI15: Almidón de chuño Imilla Negra modificado con 15 ml de anhídrido acético.

Como se mencionó anteriormente el contenido de amilopectina se obtuvo restando (100 - % de amilosa).

## **ANEXO 98. Obtención de formulaciones formadoras de recubrimiento.**

Para la elaboración de recubrimiento comestible se utilizó almidón nativo de papa variedad Locka, almidón nativo de papa variedad Imilla Negra, almidón modificado de papa variedad Locka, almidón modificado de papa variedad Imilla Negra, y almidón nativo de chuño variedad Locka, almidón nativo de chuño variedad Imilla Negra, almidón modificado de chuño variedad Locka, almidón modificado de chuño variedad Imilla Negra.

La metodología para la elaboración de recubrimiento comestible se basó en la metodología citada por (Cerqueira *et al.*, 2009), con algunas modificaciones, los recubrimientos comestibles fueron elaborados disolviendo los almidones modificados de papa y chuño en agua destilada a una temperatura de 80 °C, se añadió glicerol y la solución se agitó utilizando un agitador magnético y un calentador, la temperatura durante el calentamiento tiene que alcanzar los 85 °C con la finalidad de fusionar de forma completa el almidón, agua y glicerol, cuando la solución tiene la temperatura mencionada anteriormente se le añade el *Tween* 80, el proceso dura 1 hora, la solución filogénica se almacena en refrigeración.

Cabe mencionar que la recepción de las fresas orgánicas variedad Chandler que se utilizaron en la presente investigación fueron adquiridas de Acora. La metodología de recolección que se realizó fue en base al estudio realizado por (Vakili-Ghartavol *et al.*, 2024), con algunas modificaciones, las fresas fueron cosechadas en el invernadero de Acora, la selección de las fresas se basó en su uniformidad en forma, tamaño, color y ausencia de daños externos, plagas y enfermedades, así mismo, de forma cuidadosa se retiró de la planta y se colocó en envases PET con tenían en la base un amortiguador (Plástico de burbujas), a su vez estos envases fueron colocados en una caja térmica de Tecnopor, luego inmediatamente fueron transportados al laboratorio para realizar los análisis correspondientes.

A continuación, se da a conocer el diagrama de flujo de las distintas etapas correspondientes para la elaboración de recubrimiento comestible a base de almidón nativo, almidón modificado, glicerol y *Tween* 80.

### **Recepción**

Luego de ser adquiridas, las fresas se mantuvieron en refrigeración (5 °C) hasta antes de realizar el tratamiento, con la finalidad de reducir los procesos metabólicos y así conseguir un menor arrugamiento del fruto (Almenar, 2005).

### **Selección**

Las fresas orgánicas variedad Chandler fueron seleccionadas en base al daño mecánico, presencia de moho, tamaño y estado de madurez, con la finalidad de homogenizar las muestras (Pastor, 2010).

### **Clasificación**

Las fresas orgánicas variedad Chandler fueron clasificadas en base a un diámetro de 2.6 cm con la finalidad de obtener muestras homogéneas en los tratamientos correspondientes (Espinoza, 2009).

### **Lavado y Desinfectado**

Las fresas orgánicas variedad Chandler fueron lavadas y desinfectadas, se preparó una solución con hipoclorito de sodio 50 ppm y agua, las fresas se desinfectaron por inmersión por un tiempo de 5 minutos con la finalidad de eliminar microorganismos presentes en la zona externa de dicho fruto.

### **Ecurrido**

Luego del lavado y desinfección las fresas orgánicas variedad Chandler fueron escurridas con la finalidad de eliminar el agua y se almacenaron a temperatura ambiente.

### **Recubrimiento de los Frutos**

A las fresas orgánicas variedad Chandler previamente desinfectadas se aplicaron los recubrimientos comestibles mediante el método de inmersión por un tiempo de 1 minuto, donde la temperatura del recubrimiento comestible fue de 15 °C, luego del tiempo de inmersión se retiraron y se dejaron escurrir para retirar el recubrimiento sobrante.

### **Secado**

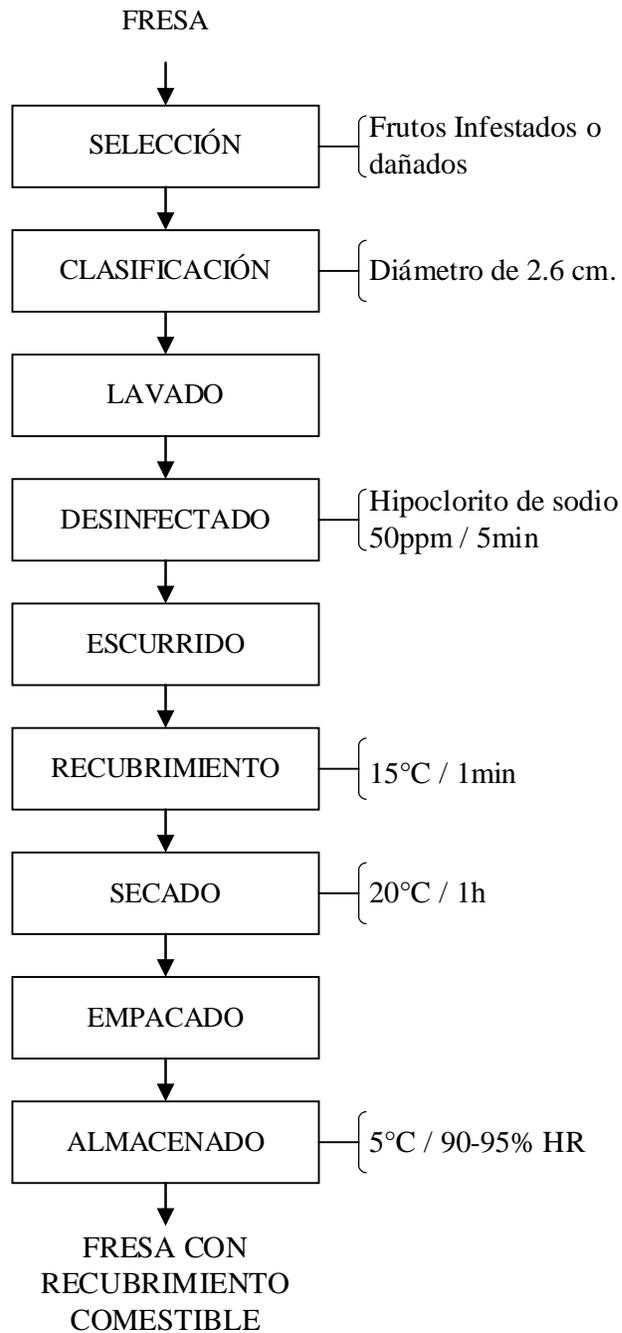
El secado de las fresas orgánicas variedad Chandler con recubrimiento comestible fue por un tiempo de 1 hora a una temperatura de 20 °C (Colla *et al.*, 2006; Restrepo & Aristizábal, 2010; M. Vargas, Albors, Chiralt, & González, 2006).

### **Empacado**

Las fresas orgánicas variedad Chandler con recubrimiento comestible fueron empacadas en envases de plástico que tenían orificios para permitir el paso de respiración de dicho fruto (Restrepo & Aristizábal, 2010; Vargas *et al.*, 2006).

### **Almacenamiento**

Las fresas orgánicas variedad Chandler con recubrimiento comestible previamente empacadas, se almacenaron en una refrigeradora a una temperatura de 5 °C con la finalidad de reducir la tasa de respiración y evitar cambios en los resultados correspondiente (Almenar, 2005; Ouattara, Sabato, & Lacroix, 2002; Vargas *et al.*, 2006).



**Diagrama de procesamiento para la elaboración y aplicación recubrimiento a fresas.**

## ANEXO 99. Datos experimentales.

### Objetivo 1.

#### a) Composición proximal

| Muestra      | N° de Réplica | Humedad | Cenizas | Proteína | Grasa | Fibra | Carbohidratos |
|--------------|---------------|---------|---------|----------|-------|-------|---------------|
| Papa locka   | R1            | 71.21   | 4.81    | 8.11     | 0.91  | 3.21  | 11.74         |
|              | R2            | 70.29   | 4.68    | 8.09     | 0.89  | 3.18  | 12.86         |
|              | R3            | 70.35   | 5.15    | 8.32     | 0.91  | 3.18  | 12.09         |
| Papa imilla  | R1            | 74.88   | 5.21    | 9.42     | 1.21  | 3.92  | 5.35          |
|              | R2            | 73.67   | 5.02    | 8.91     | 1.29  | 3.65  | 7.46          |
|              | R3            | 74.10   | 5.32    | 9.12     | 1.19  | 3.73  | 6.53          |
| Chuño locka  | R1            | 10.02   | 0.95    | 1.69     | 0.12  | 0.51  | 86.70         |
|              | R2            | 10.25   | 0.95    | 1.72     | 0.92  | 0.59  | 85.57         |
|              | R3            | 10.54   | 1.01    | 1.71     | 0.11  | 0.61  | 86.01         |
| Chuño imilla | R1            | 11.55   | 0.84    | 1.41     | 0.09  | 0.41  | 85.69         |
|              | R2            | 11.64   | 0.89    | 1.39     | 0.10  | 0.48  | 85.49         |
|              | R3            | 11.36   | 0.81    | 1.35     | 0.10  | 0.49  | 85.89         |

**b) Rendimiento total en la elaboración de chuño**

|  | N° de Réplica | Papa variedad<br>Imilla negra | Papa variedad<br>locka |
|--|---------------|-------------------------------|------------------------|
| Peso inicial de papa (Kg)                | R1            | 10.01                         | 10.03                  |
|  | R2            | 10.00                         | 10.00                  |
|  | R3            | 10.02                         | 10.01                  |
| Peso final de chuño (Kg)                 | R1            | 2.23                          | 2.51                   |
|  | R2            | 2.31                          | 2.39                   |
|  | R3            | 2.19                          | 2.48                   |
| Peso perdido (cáscara, agua, otros) (Kg) | R1            | 7.78                          | 7.52                   |
|  | R2            | 7.69                          | 7.61                   |
|  | R3            | 7.83                          | 7.53                   |
| Rendimiento %                            | R1            | 22.28                         | 25.04                  |
|  | R2            | 23.10                         | 23.89                  |
|  | R3            | 21.85                         | 24.77                  |

## Objetivo 2.

### a) Rendimiento de la extracción del almidón

|        |    | Cant. almidon<br>kg | Cant. de papa kg | Rendimiento % | Rendimiento |
|--------|----|---------------------|------------------|---------------|-------------|
| PAPA   | R1 | 1.01                | 10.19            | 9.911678116   | 9.91167812  |
| LOCKA  |    |                     |                  |               |             |
|        | R2 | 1.2                 | 10.08            | 11.9047619    | 11.9047619  |
|        | R3 | 1.09                | 10.12            | 10.77075099   | 10.770751   |
| PAPA   | R1 | 1.3                 | 10.09            | 12.88404361   | 12.8840436  |
| IMILLA |    |                     |                  |               |             |
|        | R2 | 1.24                | 10.04            | 12.35059761   | 12.3505976  |
|        | R3 | 1.4                 | 10.01            | 13.98601399   | 13.986014   |
| CHUÑO  | R1 | 2.1                 | 10.15            | 20.68965517   | 20.6896552  |
| LOCKA  |    |                     |                  |               |             |
|        | R2 | 2.25                | 10.04            | 22.41035857   | 22.4103586  |
|        | R3 | 2.09                | 10.95            | 19.08675799   | 19.086758   |
| CHUÑO  | R1 | 1.91                | 10.45            | 18.27751196   | 18.277512   |
| IMILLA |    |                     |                  |               |             |
|        | R2 | 1.88                | 10.11            | 18.59545005   | 18.59545    |
|        | R3 | 2.12                | 10.09            | 21.01090188   | 21.0109019  |

### Objetivo 3.

#### a) Color CIELAB

##### L\*

|    | APL   | APL5  | APL10 | APL15 | API   | API5  | API10 | API15 | ACL   | ACL5 | ACL10 | ACL15 | ACI  | ACI5 | ACI10 | ACI15 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| R1 | 93.18 | 94.12 | 96    | 97.55 | 92.14 | 96.14 | 93.8  | 96.55 | 78.91 | 80.2 | 85    | 82    | 75.9 | 74   | 78    | 80    |
| R2 | 93.26 | 94.18 | 96    | 97.66 | 92.18 | 95.23 | 93.8  | 96.58 | 78.99 | 78.6 | 85    | 84    | 76.3 | 73   | 78    | 83    |
| R3 | 93.04 | 95.06 | 96    | 96.74 | 93.39 | 96.28 | 93.3  | 96.38 | 78.8  | 80.3 | 84    | 82    | 75.8 | 77   | 80    | 79    |

##### a\*

|    | APL   | APL5  | APL10 | APL15 | API   | API5  | API10 | API15 | ACL  | ACL5 | ACL10 | ACL15 | ACI  | ACI5 | ACI10 | ACI15 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| R1 | -0.3  | -1.12 | -0    | -0.11 | -0.25 | -0.35 | -0.5  | -0.78 | 0.55 | 0.12 | -0    | -0    | 0.61 | 0.7  | 0.4   | -0    |
| R2 | -0.21 | -1.31 | -0    | -0.07 | -0.21 | -0.34 | -0.5  | -0.77 | 0.49 | 0.25 | -0    | -0    | 0.66 | 0.7  | 0.7   | -0    |
| R3 | -0.34 | -1.07 | -0    | -0.15 | -0.28 | -0.44 | -0.5  | -0.92 | 0.61 | 0.19 | 1.4   | -0    | -0.2 | 1.2  | 0.6   | 1     |

##### b\*

|    | APL  | APL5 | APL10 | APL15 | API  | API5 | API10 | API15 | ACL  | ACL5 | ACL10 | ACL15 | ACI  | ACI5 | ACI10 | ACI15 |
|----|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| R1 | 1.8  | 3.1  | 2.6   | 1.17  | 2.22 | 2.14 | 2.57  | 1.66  | 3.31 | 2.99 | 3.3   | 3.2   | 4.55 | 5.1  | 3.6   | 5     |
| R2 | 1.89 | 3.12 | 2.5   | 1.2   | 2.15 | 2.22 | 1.07  | 1.74  | 3.29 | 3.51 | 2.5   | 2.6   | 4.65 | 5.1  | 4.5   | 5     |
| R3 | 1.76 | 2.3  | 2.4   | 1.01  | 2.24 | 1.04 | 2.48  | 2.58  | 2.25 | 2.45 | 2.6   | 3.5   | 5.14 | 4.9  | 5     | 4     |

#### Objetivo 4.

##### a) Propiedades fisicoquímicas

|      |    | Humedad | Cenizas | Proteína | Grasa | Fibra | Carbohidratos | Amilosa | Amilopectina |
|------|----|---------|---------|----------|-------|-------|---------------|---------|--------------|
|      | R1 | 8.12    | 0.17    | 0.86     | 0.03  | 0.05  | 90.76         | 24.11   | 75.89        |
| APL  | R2 | 7.84    | 0.25    | 0.72     | 0.04  | 0.07  | 91.08         | 24.12   | 75.88        |
|      | R3 | 8.49    | 0.14    | 0.93     | 0.03  | 0.06  | 90.35         | 24.20   | 75.80        |
| APL  | R1 | 7.96    | 0.18    | 0.81     | 0.02  | 0.05  | 90.98         | 24.82   | 75.18        |
| 5ML  | R2 | 8.02    | 0.17    | 0.80     | 0.02  | 0.05  | 90.94         | 24.80   | 75.20        |
|      | R3 | 7.89    | 0.19    | 0.83     | 0.02  | 0.05  | 91.03         | 24.82   | 75.18        |
| APL  | R1 | 8.46    | 0.13    | 0.61     | 0.02  | 0.04  | 90.74         | 25.11   | 74.89        |
| 10ML | R2 | 8.37    | 0.14    | 0.63     | 0.02  | 0.04  | 90.80         | 25.23   | 74.77        |
|      | R3 | 8.54    | 0.12    | 0.60     | 0.03  | 0.04  | 90.67         | 25.15   | 74.85        |
| APL  | R1 | 7.62    | 0.10    | 0.54     | 0.01  | 0.03  | 91.69         | 26.51   | 73.49        |
| 15ML | R2 | 7.54    | 0.11    | 0.56     | 0.01  | 0.03  | 91.74         | 26.49   | 73.51        |
|      | R3 | 7.68    | 0.10    | 0.53     | 0.02  | 0.04  | 91.64         | 26.51   | 73.49        |
| API  | R1 | 7.87    | 0.15    | 0.52     | 0.02  | 0.04  | 91.39         | 28.88   | 71.12        |
|      | R2 | 7.93    | 0.15    | 0.54     | 0.02  | 0.04  | 91.33         | 28.84   | 71.16        |
|      | R3 | 7.81    | 0.16    | 0.51     | 0.02  | 0.04  | 91.46         | 28.81   | 71.19        |
| API  | R1 | 8.20    | 0.14    | 0.42     | 0.02  | 0.03  | 91.19         | 29.30   | 70.70        |
| 5ML  | R2 | 8.14    | 0.14    | 0.44     | 0.02  | 0.03  | 91.23         | 29.31   | 70.69        |
|      | R3 | 8.26    | 0.13    | 0.41     | 0.02  | 0.03  | 91.14         | 29.28   | 70.72        |
| API  | R1 | 9.15    | 0.13    | 0.41     | 0.02  | 0.02  | 90.27         | 32.01   | 67.99        |
| 10ML | R2 | 9.19    | 0.13    | 0.40     | 0.02  | 0.02  | 90.24         | 32.12   | 67.88        |
|      | R3 | 9.11    | 0.13    | 0.42     | 0.02  | 0.02  | 90.29         | 32.02   | 67.98        |
| API  | R1 | 7.21    | 0.15    | 0.32     | 0.01  | 0.04  | 92.26         | 33.12   | 66.88        |
| 15ML | R2 | 7.19    | 0.15    | 0.32     | 0.01  | 0.04  | 92.28         | 33.25   | 66.75        |
|      | R3 | 7.43    | 0.15    | 0.32     | 0.01  | 0.04  | 92.04         | 33.02   | 66.98        |

## Continuación objetivo 4.

### a) Propiedades fisicoquímicas

|      |    | Humedad | Cenizas | Proteína | Grasa | Fibra | Carbohidratos | Amilosa | Amilopectina |
|------|----|---------|---------|----------|-------|-------|---------------|---------|--------------|
|      | R1 | 9.15    | 0.35    | 0.36     | 0.02  | 0.72  | 89.40         | 20.21   | 79.79        |
| ACL  | R2 | 9.04    | 0.35    | 0.36     | 0.01  | 0.72  | 89.52         | 20.23   | 79.77        |
|      | R3 | 9.36    | 0.36    | 0.36     | 0.02  | 0.72  | 89.19         | 20.19   | 79.81        |
| ACL  | R1 | 8.88    | 0.33    | 0.35     | 0.00  | 0.70  | 89.73         | 22.14   | 77.86        |
| 5ML  | R2 | 8.89    | 0.33    | 0.35     | 0.00  | 0.70  | 89.72         | 22.15   | 77.85        |
|      | R3 | 8.87    | 0.34    | 0.35     | 0.00  | 0.70  | 89.74         | 22.35   | 77.65        |
| ACL  | R1 | 9.01    | 0.42    | 0.33     | 0.01  | 0.75  | 89.46         | 24.01   | 75.99        |
| 10ML | R2 | 9.03    | 0.42    | 0.34     | 0.01  | 0.75  | 89.45         | 24.35   | 75.65        |
|      | R3 | 9.00    | 0.43    | 0.33     | 0.01  | 0.75  | 89.47         | 24.26   | 75.74        |
| ACL  | R1 | 8.34    | 0.41    | 0.31     | 0.00  | 0.72  | 90.22         | 25.11   | 74.89        |
| 15ML | R2 | 8.33    | 0.41    | 0.31     | 0.00  | 0.72  | 90.23         | 25.02   | 74.98        |
|      | R3 | 8.35    | 0.41    | 0.31     | 0.00  | 0.72  | 90.20         | 25.23   | 74.77        |
|      | R1 | 10.15   | 0.44    | 0.38     | 0.01  | 0.91  | 88.10         | 22.45   | 77.55        |
| ACI  | R2 | 10.16   | 0.44    | 0.39     | 0.01  | 0.92  | 88.09         | 22.44   | 77.56        |
|      | R3 | 10.14   | 0.45    | 0.38     | 0.01  | 0.91  | 88.11         | 22.39   | 77.61        |
| ACI  | R1 | 9.42    | 0.32    | 0.35     | 0.01  | 0.81  | 89.08         | 22.83   | 77.17        |
| 5ML  | R2 | 9.43    | 0.32    | 0.36     | 0.01  | 0.82  | 89.07         | 22.68   | 77.32        |
|      | R3 | 9.41    | 0.32    | 0.35     | 0.01  | 0.81  | 89.10         | 22.55   | 77.45        |
| ACI  | R1 | 9.51    | 0.35    | 0.36     | 0.01  | 0.83  | 88.93         | 24.51   | 75.49        |
| 10ML | R2 | 9.53    | 0.34    | 0.37     | 0.01  | 0.84  | 88.91         | 24.38   | 75.62        |
|      | R3 | 9.50    | 0.35    | 0.36     | 0.01  | 0.83  | 88.94         | 24.14   | 75.86        |
| ACI  | R1 | 8.71    | 0.33    | 0.33     | 0.01  | 0.72  | 89.89         | 25.51   | 74.49        |
| 15ML | R2 | 8.73    | 0.33    | 0.34     | 0.01  | 0.72  | 89.88         | 25.12   | 74.88        |
|      | R3 | 8.70    | 0.34    | 0.33     | 0.01  | 0.71  | 89.91         | 25.13   | 74.87        |

#### Objetivo 4.

##### a) Propiedades térmicas

|          |    | Temperatura<br>inicial °C | Temperatura<br>pico °C | Temperatura<br>final °C | Entalpía de<br>Gelatinización<br>J/g |
|----------|----|---------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| APL      | R1 | 56.67                     | 60.39                  | 73.85                   | 4.31                                 |
|          | R2 | 56.77                     | 60.64                  | 74.35                   | 5.03                                 |
|          | R3 | 56.53                     | 60.16                  | 74.10                   | 4.94                                 |
| APL 5ML  | R1 | 57.51                     | 61.37                  | 69.40                   | 2.73                                 |
|          | R2 | 57.68                     | 61.47                  | 69.57                   | 3.18                                 |
|          | R3 | 57.36                     | 61.21                  | 69.00                   | 2.01                                 |
| APL 10ML | R1 | 57.49                     | 60.61                  | 72.30                   | 3.82                                 |
|          | R2 | 57.33                     | 60.74                  | 72.71                   | 4.23                                 |
|          | R3 | 57.61                     | 60.51                  | 72.05                   | 4.08                                 |
| APL 15ML | R1 | 58.04                     | 61.59                  | 72.71                   | 2.45                                 |
|          | R2 | 57.89                     | 61.38                  | 73.31                   | 3.14                                 |
|          | R3 | 58.20                     | 61.74                  | 72.54                   | 2.31                                 |
| API      | R1 | 57.51                     | 61.47                  | 73.55                   | 3.30                                 |
|          | R2 | 57.63                     | 61.68                  | 73.69                   | 2.78                                 |
|          | R3 | 57.37                     | 61.29                  | 73.43                   | 4.11                                 |
| API 5ML  | R1 | 57.44                     | 61.32                  | 71.75                   | 2.65                                 |
|          | R2 | 57.58                     | 61.53                  | 72.16                   | 3.50                                 |
|          | R3 | 57.27                     | 61.02                  | 71.49                   | 3.34                                 |
| API 10ML | R1 | 56.95                     | 60.78                  | 69.11                   | 2.77                                 |
|          | R2 | 57.11                     | 60.99                  | 69.22                   | 3.33                                 |
|          | R3 | 56.85                     | 60.59                  | 68.92                   | 2.95                                 |
| API 15ML | R1 | 57.06                     | 61.82                  | 73.53                   | 2.94                                 |
|          | R2 | 57.57                     | 61.93                  | 73.85                   | 3.19                                 |
|          | R3 | 57.99                     | 61.68                  | 73.28                   | 3.08                                 |

#### Continuación objetivo 4.

##### a) Propiedades térmicas

|          |    | Temperatura<br>inicial °C | Temperatura<br>pico °C | Temperatura<br>final °C | Entalpía de<br>Gelatinización<br>J/g |
|----------|----|---------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
|          | R1 | 59.365                    | 63.07                  | 70.78                   | 2.441                                |
| ACL      | R2 | 59.515                    | 63.22                  | 70.23                   | 2.991                                |
|          | R3 | 59.245                    | 62.97                  | 70.6                    | 3.081                                |
|          | R1 | 60.175                    | 64.15                  | 74.02                   | 3.672                                |
| ACL 5ML  | R2 | 60.315                    | 64.35                  | 74.2                    | 4.222                                |
|          | R3 | 60.025                    | 63.96                  | 74.17                   | 3.792                                |
|          | R1 | 60.228                    | 64.14                  | 74.83                   | 3.134                                |
| ACL 10ML | R2 | 60.328                    | 64.3                   | 74.22                   | 3.584                                |
|          | R3 | 60.388                    | 63.98                  | 74.58                   | 3.034                                |
|          | R1 | 60.497                    | 63.81                  | 75.87                   | 5.677                                |
| ACL 15ML | R2 | 60.607                    | 63.93                  | 75.99                   | 6.487                                |
|          | R3 | 60.357                    | 63.62                  | 75.73                   | 5.817                                |
|          | R1 | 57.395                    | 61.23                  | 73.04                   | 2.42                                 |
| ACI      | R2 | 57.185                    | 61.05                  | 73.29                   | 2.86                                 |
|          | R3 | 57.555                    | 61.48                  | 73.47                   | 3.01                                 |
|          | R1 | 60.516                    | 64.98                  | 74.22                   | 3.059                                |
| ACI 5ML  | R2 | 60.626                    | 65.12                  | 74.63                   | 3.719                                |
|          | R3 | 60.376                    | 64.79                  | 74.36                   | 2.959                                |
|          | R1 | 61.65                     | 64.92                  | 73.77                   | 1.902                                |
| ACI 10ML | R2 | 61.87                     | 65.13                  | 74.43                   | 2.322                                |
|          | R3 | 61.49                     | 64.74                  | 73.98                   | 1.762                                |
|          | R1 | 60.828                    | 64.82                  | 75.19                   | 3.965                                |
| ACI 15ML | R2 | 60.648                    | 64.93                  | 75.67                   | 4.815                                |
|          | R3 | 60.998                    | 64.61                  | 75.93                   | 4.915                                |

#### Objetivo 4.

##### a) Propiedades reológicas

|          |    | $\sigma_0$ | $\eta$ | k (Pa.sn) | R2   |
|----------|----|------------|--------|-----------|------|
|          | R1 | 64.40      | 0.53   | 18.90     | 0.98 |
| APL      | R2 | 64.53      | 0.53   | 18.97     | 0.98 |
|          | R3 | 74.56      | 0.52   | 20.35     | 0.98 |
|          | R1 | 49.52      | 0.59   | 13.46     | 0.99 |
| APL 5ML  | R2 | 47.84      | 0.59   | 12.76     | 0.99 |
|          | R3 | 47.73      | 0.59   | 12.41     | 0.99 |
|          | R1 | 23.09      | 0.80   | 4.26      | 0.99 |
| APL 10ML | R2 | 24.79      | 0.81   | 4.18      | 0.99 |
|          | R3 | 23.84      | 0.80   | 4.15      | 0.99 |
|          | R1 | 52.60      | 0.58   | 13.38     | 0.99 |
| APL 15ML | R2 | 50.28      | 0.57   | 14.01     | 0.98 |
|          | R3 | 48.19      | 0.57   | 14.11     | 0.99 |
|          | R1 | 55.74      | 0.48   | 20.44     | 0.97 |
| API      | R2 | 52.13      | 0.49   | 20.33     | 0.97 |
|          | R3 | 49.41      | 0.49   | 20.61     | 0.97 |
|          | R1 | 47.54      | 0.54   | 18.04     | 0.97 |
| API 5ML  | R2 | 52.78      | 0.51   | 19.18     | 0.98 |
|          | R3 | 52.17      | 0.52   | 18.91     | 0.98 |
|          | R1 | 54.18      | 0.55   | 17.71     | 0.98 |
| API 10ML | R2 | 56.72      | 0.54   | 18.70     | 0.98 |
|          | R3 | 56.42      | 0.54   | 18.70     | 0.98 |
|          | R1 | 48.03      | 0.54   | 18.13     | 0.96 |
| API 15ML | R2 | 51.99      | 0.52   | 19.94     | 0.96 |
|          | R3 | 52.06      | 0.52   | 19.25     | 0.96 |

**Continuación objetivo 4.**

**a) Propiedades reológicas**

|          |    | $\sigma_0$ | $\eta$ | k (Pa.sn) | R2   |
|----------|----|------------|--------|-----------|------|
| ACL      | R1 | 2.10       | 0.67   | 2.03      | 1.00 |
|          | R2 | 2.13       | 0.67   | 1.97      | 1.00 |
|          | R3 | 1.89       | 0.69   | 2.16      | 1.00 |
| ACL 5ML  | R1 | 2.10       | 0.67   | 1.85      | 1.00 |
|          | R2 | 2.16       | 0.67   | 2.03      | 1.00 |
|          | R3 | 1.96       | 0.67   | 1.92      | 0.99 |
| ACL 10ML | R1 | 3.03       | 0.64   | 1.55      | 1.00 |
|          | R2 | 2.65       | 0.68   | 1.84      | 0.99 |
|          | R3 | 2.77       | 0.66   | 1.62      | 0.99 |
| ACL 15ML | R1 | 2.59       | 0.68   | 1.87      | 0.99 |
|          | R2 | 2.43       | 0.69   | 1.98      | 1.00 |
|          | R3 | 2.45       | 0.68   | 1.92      | 1.00 |
| ACI      | R1 | 16.85      | 0.64   | 3.57      | 0.98 |
|          | R2 | 15.53      | 0.57   | 5.06      | 0.99 |
|          | R3 | 14.78      | 0.56   | 5.34      | 0.99 |
| ACI 5ML  | R1 | 1.58       | 0.69   | 1.90      | 0.99 |
|          | R2 | 1.58       | 0.70   | 1.97      | 0.99 |
|          | R3 | 1.49       | 0.70   | 2.00      | 0.99 |
| ACI 10ML | R1 | 4.05       | 0.67   | 1.26      | 0.99 |
|          | R2 | 2.97       | 0.72   | 1.67      | 1.00 |
|          | R3 | 3.11       | 0.73   | 1.69      | 1.00 |
| ACI 15ML | R1 | 2.29       | 0.71   | 1.90      | 0.99 |
|          | R2 | 2.35       | 0.73   | 1.97      | 0.99 |
|          | R3 | 2.24       | 0.72   | 1.95      | 0.99 |

## Objetivo 5.

### a) Tasa de respiración

|                       |    | TR O <sub>2</sub> | TR CO <sub>2</sub> | CR (CO <sub>2</sub> / O <sub>2</sub> ) |
|-----------------------|----|-------------------|--------------------|--|
| Control               | R1 | -3.40             | 4.18               | 1.23                                   |
|                       | R2 | -2.50             | 5.33               | 2.13                                   |
|                       | R3 | -1.90             | 5.16               | 2.72                                   |
| Recubrimiento<br>API  | R1 | -2.90             | 3.19               | 1.10                                   |
|                       | R2 | -2.60             | 3.29               | 1.27                                   |
|                       | R3 | -3.00             | 2.99               | 1.00                                   |
| Recubrimiento<br>APIM | R1 | -2.80             | 2.98               | 1.06                                   |
|                       | R2 | -3.00             | 3.48               | 1.16                                   |
|                       | R3 | -2.55             | 2.58               | 1.01                                   |
| Recubrimiento<br>APL  | R1 | -3.20             | 3.36               | 1.05                                   |
|                       | R2 | -3.30             | 3.76               | 1.14                                   |
|                       | R3 | -2.80             | 3.16               | 1.13                                   |
| Recubrimiento<br>APLM | R1 | -3.10             | 3.18               | 1.03                                   |
|                       | R2 | -3.30             | 2.98               | 0.90                                   |
|                       | R3 | -3.00             | 3.58               | 1.19                                   |
| Recubrimiento<br>ACI  | R1 | -3.20             | 3.92               | 1.22                                   |
|                       | R2 | -3.10             | 4.32               | 1.39                                   |
|                       | R3 | -3.40             | 3.62               | 1.06                                   |
| Recubrimiento<br>ACIM | R1 | -3.10             | 3.62               | 1.17                                   |
|                       | R2 | -3.20             | 3.92               | 1.22                                   |
|                       | R3 | -2.80             | 3.22               | 1.15                                   |
| Recubrimiento<br>ACL  | R1 | -3.30             | 3.96               | 1.20                                   |
|                       | R2 | -3.40             | 4.36               | 1.28                                   |
|                       | R3 | -3.00             | 3.66               | 1.22                                   |
| Recubrimiento<br>ACLM | R1 | -3.20             | 3.66               | 1.14                                   |
|                       | R2 | -3.30             | 3.91               | 1.19                                   |
|                       | R3 | -2.90             | 3.35               | 1.16                                   |

**b) Permeabilidad al vapor de agua**

---

| Recubrimiento con almidón de papas |               |               |               |               |
|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                                    | Recubrimiento | Recubrimiento | Recubrimiento | Recubrimiento |
|                                    | API           | APIM          | APL           | APLM          |
| R1                                 | 68.4          | 55.4          | 61.4          | 50.2          |
| R2                                 | 65.2          | 53.9          | 68.8          | 53.4          |
| R3                                 | 66.8          | 51.4          | 60.4          | 51.8          |

---

---

| Recubrimiento con almidón de chuños |               |               |               |               |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                                     | Recubrimiento | Recubrimiento | Recubrimiento | Recubrimiento |
|                                     | ACI           | ACIM          | ACL           | ACLM          |
| R1                                  | 85.1          | 78.8          | 79.1          | 70.1          |
| R2                                  | 88.4          | 75.6          | 82.4          | 72.4          |
| R3                                  | 86.2          | 75.8          | 84.6          | 75.8          |

---

## ANEXO 100. Diseño estadístico.

### Diseño completamente al azar y ANOVA

Se expresa de la forma:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

donde  $\mu$  es el parámetro de escala compartido por todos los tratamientos, denominado media global,  $\tau_i$ ; es un parámetro que cuantifica el efecto del tratamiento  $i + \varepsilon_{ij}$  es el error atribuible a la medición  $Y_{ij}$ . Este modelo implica que en el diseño completamente al azar actuarían como máximo dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio. La media global  $\mu$  de la variable de respuesta no se considera una fuente de variabilidad por ser una constante común a todos los tratamientos, funcionando como punto de referencia con respecto al cual se comparan las respuestas medias de los tratamientos. Si la respuesta media de un tratamiento particular  $\mu_i$ , es “muy diferente” de la respuesta media global  $\mu$ , es un indicio de que existe un efecto de dicho tratamiento, ya que como se verá más adelante,  $\tau_i = \mu_i - \mu$ . La diferencia que deben tener las medias entre sí para concluir que hay un efecto (que los tratamientos son diferentes) nos la proporciona el análisis de varianza (ANOVA) (Gutiérrez & De la Vara, 2018).



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

*"Universidad Pública de Calidad"*