

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

**DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA Y CIENCIA DE LOS
ALIMENTOS**



Trabajo final

“EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN A PARTIR DE AJIPA”

Por:

JULIO ROQUE ALMAZAN URQUIZO

Trabajo final presentado a consideración de la UNIVERIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos.

**ABRIL - 2017
TARIJA-BOLIVIA**

DEDICATORIA

A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar.

A mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento

A mis hermanas por ser mi apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a aquellas personas que compartieron sus conocimientos conmigo.

Agradezco al Ing. Johnny Mercado por su tiempo conocimiento impartido y su apoyo incondicional.

Al Ing. Erick Ramírez por su dedicado e incondicional apoyo durante la realización del trabajo.

Al Ing. Weimar Torrejón; Ing. Beatriz Sossa Ing. Luis F. Zenteno; Ing. Jesús Zamora; por todos los consejos y apoyo brindado en todo momento y todos los docentes que formaron parte de mi formación profesional.

Nadie puede llegar a la cima armado sólo de su talento.
Dios da el talento; el trabajo transforma el talento en
genio.

Anna Pavlova

ÍNDICE

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

| | |
|---------------------------------------|---|
| 1.1. Antecedentes | 2 |
| 1.2. Justificación..... | 3 |
| 1.3. Planteamiento del problema | 3 |
| 1.4. Formulación del problema | 4 |
| 1.5. Objetivo general | 4 |
| 1.6. Objetivos específicos | 4 |
| 1.7. Hipótesis | 5 |

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

| | |
|--|----|
| 2.1. Características de la materia prima | 7 |
| 2.1.1. Origen | 7 |
| 2.1.2. Distribución | 8 |
| 2.1.3. Nombres comunes | 10 |
| 2.1.4. Taxonomía | 10 |
| 2.1.5. Descripción botánica | 11 |
| 2.1.5.1. Inflorescencia..... | 12 |
| 2.1.5.2. Fruto | 13 |
| 2.1.5.3. Raíz tuberosa | 13 |
| 2.1.6. Requerimientos del cultivo | 14 |

| | |
|---|----|
| 2.1.6.1. Clima | 15 |
| 2.1.6.2. Suelos..... | 15 |
| 2.1.6.3. Riego | 16 |
| 2.1.6.4. Fertilización..... | 17 |
| 2.1.6.5. Defloración..... | 17 |
| 2.1.7. Manejo del cultivo | 17 |
| 2.1.7.1. Propagación..... | 17 |
| 2.1.7.2. Época de siembra | 18 |
| 2.1.7.3. Densidad de siembra | 18 |
| 2.1.7.4. Inoculación..... | 19 |
| 2.1.7.5. Cosecha | 21 |
| 2.1.8. Producción..... | 21 |
| 2.1.9. Plagas..... | 21 |
| 2.1.9.1. Nemátodos | 21 |
| 2.1.9.2. Insectos | 22 |
| 2.1.9.3. Malas hierbas | 22 |
| 2.1.10. Enfermedades | 23 |
| 2.1.11. Fijación de nitrógeno..... | 23 |
| 2.2. Ajipa | 24 |
| 2.2.1. Antecedentes..... | 24 |
| 2.2.2. Composición de la raíz tuberosa..... | 24 |
| 2.2.3. Usos de la ajipa | 25 |
| 2.2.4. Uso potencial | 26 |
| 2.2.5. Propiedades de la ajipa | 26 |
| 2.3. Almidón..... | 26 |
| 2.3.1. Estructura del almidón | 28 |
| 2.3.1.1. Amilosa | 28 |
| 2.3.1.2. Amilopectina | 29 |
| 2.3.2. Amilosa y amilopectina en el granulo de almidón..... | 30 |
| 2.3.3. Proteínas del gránulo de almidón..... | 33 |

| | |
|---|----|
| 2.3.4. Aislamiento de almidón | 33 |
| 2.3.5. Usos industriales del almidón | 34 |
| 2.3.6. Caracterización fisicoquímica del almidón | 34 |
| 2.3.6.1. Gelatinización y retrogradación | 35 |
| 2.3.6.2. Propiedades físicas del almidón de ajipa | 37 |
| 2.3.6.3. Fórmula química del almidón | 38 |
| 2.3.7. Identificación de las técnicas de extracción de almidón de ajipa..... | 39 |
| 2.3.7.1. Extracción de almidon por vía húmeda | 40 |
| 2.3.7.2. Extracción de almidón por vía seca..... | 42 |
| 2.4. Secado | 44 |
| 2.4.1. Fenómenos de secado | 45 |
| 2.4.1.1. Curvas de secado | 45 |
| 2.4.2. Factores que afectan al proceso de secado..... | 46 |
| 2.4.2.1. Temperatura | 46 |
| 2.4.2.2. Ventilación con respecto a la materia prima..... | 47 |
| 2.4.3. Contenido de humedad..... | 47 |
| 2.4.4. Temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo | 48 |
| 2.4.5. Efectos de transferencia de energía y masa | 48 |
| 2.4.6. Equipos de secado | 49 |
| 2.4.6.1. Secador de bandejas | 49 |
| 2.5. Molienda..... | 51 |
| 2.5.1. Maquinaria utilizada en la reducción de tamaño | 52 |
| 2.5.1.1. Molinos de disco de frotamiento..... | 52 |
| 2.5.1.2. Molino de doble disco | 53 |
| 2.5.1.3. Molino de martillos | 53 |
| 2.6. Tamizado..... | 54 |
| 2.6.1. Tipos de tamices..... | 55 |
| 2.6.1.1. Tamices vibratorios | 55 |

| | |
|---|----|
| 2.6.1.2. Tamices de tambor | 55 |
| 2.6.1.3. Tamices de barras | 55 |
| 2.6.2. Serie de Tamices Tyler | 56 |
| 2.7. Principios de diseño experimental..... | 56 |
| 2.7.1. Antecedentes | 56 |
| 2.7.2. Principios básicos | 57 |
| 2.7.2.1. Tipos de diseño..... | 57 |
| 2.7.2.1.1. Diseño del tratamiento | 57 |
| 2.7.2.1.2. Diseño de análisis | 57 |
| 2.7.2.1.3. Diseño experimental | 58 |

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO

| | |
|---|----|
| 3.1. Desarrollo del diseño experimental | 62 |
| 3.2. Equipos y material de laboratorio..... | 62 |
| 3.2.1. Equipos de proceso de obtención de almidón | 62 |
| 3.2.1.1. Secador de bandejas | 62 |
| 3.2.1.1.1. Partes del secador | 63 |
| 3.2.1.1.2. Cámara de secado..... | 63 |
| 3.2.1.1.3. Bandejas | 63 |
| 3.2.1.1.4. Zona de calefacción | 63 |
| 3.2.1.1.5. Zona de retención de aire | 63 |
| 3.2.1.1.6. Generador de aire | 64 |
| 3.2.1.2. Balanza analítica | 64 |
| 3.2.1.3. Molino de discos | 65 |
| 3.2.1.4. Licuadora eléctrica | 66 |
| 3.2.1.5. Tamiz vibratorio | 67 |
| 3.2.1.6. Selladora eléctrica | 68 |

| | |
|---|----|
| 3.2.2. Material de laboratorio | 69 |
| 3.2.3. Instrumentos de laboratorio | 70 |
| 3.3. Caracterización de la materia prima | 72 |
| 3.4. Diagrama de proceso de extracción de almidón de ajipa | 72 |
| 3.4.1. Descripción del proceso de extracción | 74 |
| 3.4.1.1. Recepción de la materia prima | 74 |
| 3.4.1.2. Lavado | 74 |
| 3.4.1.3. Troceado | 74 |
| 3.4.1.4. Molienda | 75 |
| 3.4.1.5. Tamizado | 75 |
| 3.4.1.6. Decantación | 75 |
| 3.4.1.7. Lavado del almidón | 75 |
| 3.4.1.8. Secado | 76 |
| 3.4.1.9. Desagregado | 76 |
| 3.4.1.10. Envasado y etiquetado | 76 |
| 3.5. Caracterización de la materia prima | 76 |
| 3.5.1. Análisis fisicoquímico de la materia prima | 76 |
| 3.5.2. Análisis microbiológico de la materia prima | 77 |
| 3.6. Caracterización de las variables del proceso | 78 |
| 3.6.1. Diseño experimental | 78 |
| 3.6.2. Diseño experimental en la etapa de sedimentación | 78 |
| 3.6.3. Diseño experimental en la etapa de secado | 79 |
| 3.7. Caracterización del producto final | 81 |
| 3.7.1. Análisis fisicoquímicos del producto final | 81 |
| 3.7.2. Análisis microbiológicos del producto final | 82 |

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

| | |
|--|-----|
| 4.1. Características de la materia prima | 84 |
| 4.1.1. Propiedades físicas de la ajipa | 84 |
| 4.1.2. Análisis fisicoquímicos de la ajipa | 85 |
| 4.1.3. Análisis microbiológicos de la ajipa | 86 |
| 4.2. Variables de mayor relevancia que influyen en el proceso de extracción de almidon de ajipa | 87 |
| 4.2.1. Diseño experimental en la operación de sedimentación | 88 |
| 4.2.2. Influencia de las variables de secado del almidón de ajipa | 89 |
| 4.2.2.1. Control de variación del contenido de humedad | 89 |
| 4.2.2.2. Influencia de la temperatura | 96 |
| 4.2.2.3. Influencia de la velocidad del aire | 100 |
| 4.2.2.4. Influencia del espesor del almidón | 104 |
| 4.2.3. Diseño estadístico en la operación de secado | 108 |
| 4.3. Cinética de secado de la capa de almidon | 109 |
| 4.4. Análisis fisicoquímico y microbiológico del producto final | 112 |
| 4.4.1. Análisis fisicoquímico del almidon de ajipa | 112 |
| 4.4.2. Análisis microbiológico del almidon de ajipa | 115 |
| 4.5. Balance de materia para la obtención de almidon de ajipa | 115 |
| 4.5.1. Balance de materia para el pelado | 117 |
| 4.5.2. Balance de materia para el troceado | 119 |
| 4.5.3. Balance de materia para la molienda húmeda | 119 |
| 4.5.4. Balance de materia para el tamizado | 120 |
| 4.5.5. Balance de materia para la decantación | 121 |
| 4.5.6. Balance de materia para el lavado del almidón | 122 |

| | |
|--|-----|
| 4.5.7. Balance de materia para el secado de almidón | 123 |
| 4.5.8. Balance de materia para el desagregado del almidón | 126 |
| 4.6. Resumen general para el balance de materia | 127 |
| 4.7. Rendimiento en el proceso de extracción de almidón de ajipa | 129 |
| 4.8. Balance de energía en el proceso para la obtención de almidon de ajipa | 129 |

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | |
|----------------------------|-----|
| 5.1. Conclusiones | 134 |
| 5.2. Recomendaciones | 137 |
| Bibliografía | 138 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1. Taxonomía de la planta de ajipa | 11 |
| Tabla 2.2. Macrocomponentes (%p/p) de raíces de Pachyrhizus ahipa | 25 |
| Tabla 2.3. Composición química de diferentes almidones | 32 |
| Tabla 3.1. Materiales de laboratorio utilizado en el proceso | 70 |
| Tabla 3.2. Materia prima utilizada en el proceso | 72 |
| Tabla 3.3. Análisis fisicoquímicos de la ajipa (CEANID) | 77 |
| Tabla 3.4. Análisis fisicoquímico de la ajipa (CIDTA) | 77 |
| Tabla 3.5. Análisis microbiológicos de la ajipa | 77 |
| Tabla 3.6. Niveles de variación de las variables en la decantación | 79 |
| Tabla 3.7. Matriz experimental para la elaboración de almidón de ajipa | 79 |
| Tabla 3.8. Niveles de variación de las variables en el secado | 80 |
| Tabla 3.9. Matriz experimental para la obtención de almidón de ajipa | 80 |
| Tabla 3.10. Análisis fisicoquímicos del almidón de ajipa (CEANID) | 81 |
| Tabla 3.11. Análisis fisicoquímicos del almidón de ajipa (CIDTA) | 81 |
| Tabla 3.12. Análisis fisicoquímicos del almidón de ajipa (IIQ) | 82 |
| Tabla 3.13. Análisis microbiológicos del almidón de ajipa | 82 |
| Tabla 4.1. Propiedades físicas de la ajipa | 84 |
| Tabla 4.2. Análisis fisicoquímicos de la ajipa (CEANID) | 85 |
| Tabla 4.3. Análisis microbiológicos de la algarroba (CIDTA) | 86 |
| Tabla 4.4. Análisis microbiológicos de la ajipa | 86 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 4.5. Diseño experimental en la operación de decantación | 88 |
| Tabla 4.6. Análisis de varianza para la operación de decantación | 89 |
| Tabla 4.7. Variación del contenido de humedad a condiciones de T_1V_1 | 91 |
| Tabla 4.8. Variación del contenido de humedad a condiciones de T_2V_1 | 93 |
| Tabla 4.9. Variación del contenido de humedad a condiciones de T_1V_2 | 94 |
| Tabla 4.10. Variación del contenido de humedad a condiciones de T_2V_2 | 95 |
| Tabla 4.11. Diseño experimental del secado en la extracción de almidon de ajipa | 108 |
| Tabla 4.12. Análisis de varianza para la operación de secado | 109 |
| Tabla 4.13. Ajuste de la variación del contenido de humedad y velocidad de secado | 110 |
| Tabla 4.14. Análisis fisicoquímicos del almidón de ajipa (CEANID) | 112 |
| Tabla 4.15. Análisis fisicoquímico del almidon de ajipa (CIDTA) | 113 |
| Tabla 4.16. Análisis fisicoquímico del almidón de ajipa (IIQ)..... | 113 |
| Tabla 4.17. Análisis fisicoquímico del almidón de ajipa (IIQ)..... | 113 |
| Tabla 4.18. Propiedades psicrométricas del aire | 124 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1. Representación de ajipa: cultura Nazca..... | 8 |
| Figura 2.2. Plantas de Pachyrhizus ahipa cultivadas | 11 |
| Figura 2.3. Representación de ajipa | 12 |
| Figura 2.4. Representación de ajipa | 13 |
| Figura 2.5. Vaina de P. Ahipa | 13 |
| Figura 2.6. Ajipa P. ajipa | 14 |
| Figura 2.7. Semillas de P. ajipa | 18 |
| Figura 2.8. Nodulación a consecuencia de la inoculación de rizobios | 20 |
| Figura 2.9. Diferencia de color entre parcelas de ajipa | 21 |
| Figura 2.10. Almidón | 27 |
| Figura 2.11. Estructura química de la amilosa | 29 |
| Figura 2.12. Estructura química de la amilopectina | 30 |
| Figura 2.13. Estructura del granulo de almidón | 31 |
| Figura 2.14. Estructura química del almidón | 38 |
| Figura 2.15. Extracción de almidón por vía húmeda | 40 |
| Figura 2.16. Extracción de almidon por vía seca | 43 |
| Figura 2.17. Curva de secado | 46 |
| Figura 2.18. Esquema de un secador de bandejas | 50 |
| Figura 2.19. Molino de discos | 52 |
| Figura 2.20. Molino de martillos | 54 |
| Figura 2.21. Tamiz Tyler | 56 |
| Figura 2.22. Modelo general de un proceso o sistema | 59 |
| Figura 3.1. Secador de bandejas | 62 |
| Figura 3.2. Generador de aire eléctrico | 64 |
| Figura 3.3. Balanza analítica digital | 65 |
| Figura 3.4. Molino de discos | 66 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3.5. Licuadora eléctrica | 67 |
| Figura 3.6. Tamiz vibratorio | 68 |
| Figura 3.7. Selladora eléctrica | 69 |
| Figura 3.8. Termómetro infrarrojo | 71 |
| Figura 3.9. Extracción de almidón a partir de ajipa | 73 |
| Figura 4.2. Micrografía de los gránulos del almidón | 114 |
| Figura 4.3. Balance de materia en el proceso de extracción de almidon de ajipa | 116 |
| Figura 4.4. Descascarado de la materia prima ajipa | 118 |
| Figura 4.5. Troceado de la ajipa | 119 |
| Figura 4.6. Molienda de los trozos de ajipa | 120 |
| Figura 4.7. Tamizado de la ajipa molida | 120 |
| Figura 4.8. Sedimentación de la lechada de almidón | 121 |
| Figura 4.9. Lavado del almidón | 122 |
| Figura 4.10. Secado del almidón | 123 |
| Figura 4.11. Desagregado del almidón | 126 |
| Figura 4.12. Resumen general del balance de materia | 128 |
| Figura 4.13. Balance de energía de la operación de secado del almidón húmedo | 125 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|--|-----|
| Gráfico 4.1. Variación del contenido de humedad con la temperatura, V_1E_1 constantes | 96 |
| Gráfico 4.2. Variación del contenido de humedad con la temperatura, V_1E_2 constantes | 97 |
| Gráfico 4.3. Variación del contenido de humedad con la temperatura, V_2E_1 constantes | 98 |
| Gráfico 4.4. Variación del contenido de humedad con la temperatura, V_2E_2 constantes | 99 |
| Gráfico 4.5. Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire, T_1E_1 constantes | 100 |
| Gráfico 4.6. Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire, T_1E_2 constantes | 101 |
| Gráfico 4.7. Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire, T_2E_1 constantes | 102 |
| Gráfico 4.8. Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire, T_2E_2 constantes | 103 |
| Gráfico 4.9. Variación del contenido de humedad con el espesor del almidón, T_1V_1 constantes | 104 |
| Gráfico 4.10. Variación del contenido de humedad con el espesor del almidón, T_2V_1 constantes | 105 |
| Gráfico 4.11. Variación del contenido de humedad con el espesor del almidón, T_1V_2 constantes | 106 |
| Gráfico 4.12. Variación del contenido de humedad con el espesor del almidón, T_2V_2 constantes | 107 |
| Gráfico 4.13. Cinética en la operación de secado | 111 |