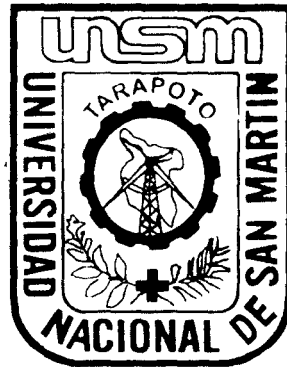


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN

FACULTAD DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



Obtención y Caracterización del Almidón de

Papa Aérea (*Dioscorea bulbifera* L.)

“Ñame Congo”

TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

Presentado Por El Bachiller

ARBEL DÁVILA RIVERA

Tarapoto - Perú

2000



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN

FACULTAD DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

Obtención y Caracterización del Almidón de

Papa Aérea (*Dioscorea bulbifera L.*)

“Ñame Congo”.

TESIS

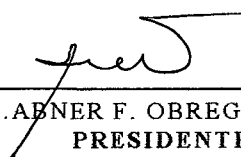
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

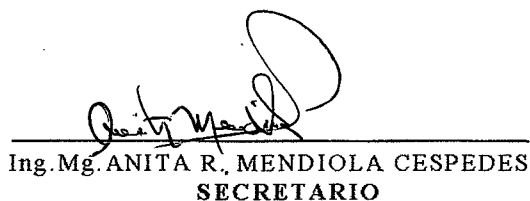
PRESENTADA POR EL BACHILLER:

ARBEL DAVILA RIVERA

SUSTENTADA Y APROBADA ANTE EL SIGUIENTE JURADO:



Ing. M.Sc. **ABNER F. OBREGON LUJERIO**
PRESIDENTE



Ing. Mg. **ANITA R. MENDIOLA CESPEDES**
SECRETARIO



Ing. W. **ERNESTO SANTANDER RUIZ**
MIEMBRO



Ing. **EPIFANIO E. MARTINEZ MENA**
PATROCINADOR

Tarapoto – Perú
2000



DEDICATORIA

A mi madre ROSA AMELIA, Con eterna gratitud, por darme la vida y por el invaluable esfuerzo realizado por verme profesional.

A mi padre WALTON AGUINALDO, por el apoyo brindado, en mi formación profesional.

A mi esposa DOLITA, Con mucho amor, por su comprensión e insistencia para desarrollar este trabajo de investigación.

A mi hijo GUSTAVO ADOLFO, con especial amor y cariño, por que me da fuerzas para seguir superándome.

Arbel.

AGRADECIMIENTO

- Al Ing. **EPIFANIO EFRAIN MARTINEZ MENA**, profesor de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín. Por sus valiosos consejos y por el constante asesoramiento en el presente trabajo.
- Al Ing. **ENRIQUE TERLEIRA GARCIA**, profesor de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial por las enseñanzas y las facilidades brindadas en el uso de las instalaciones del Laboratorio de Análisis y Composición de Alimentos (ANACOMPA).
- A la **Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto**, por las facilidades brindadas al otorgarme las instalaciones de los laboratorios de: Análisis y Composición de Productos Agroindustriales (ANACOMPA) y Tecnología de Productos Agroindustriales no Alimentos (TEPANAL),
- A la Familia **JORGE RUIZ y VIDAURRE ROJAS**, por la amistad y el apoyo brindado durante el desarrollo de mi formación profesional y en la realización de esta investigación.
- A todas las personas que colaboraron y contribuyeron a la ejecución del presente trabajo de investigación.

INDICE

| | Pag. |
|--|------|
| RESUMEN | 16 |
| ABSTRACT..... | 18 |
| I. INTRODUCCION | 20 |
| II. REVISION DE LITERATURA | 22 |
| 2.1. MATERIA PRIMA | 22 |
| 2.1.1. Generalidades | 22 |
| 2.1.2. Características botánicas | 23 |
| 2.1.2.1. Nombres comunes..... | 23 |
| 2.1.2.2. Clasificación taxonómica. | 23 |
| 2.1.2.3. Centro de origen y distribución | 24 |
| 2.1.2.4. Morfología..... | 24 |
| 2.1.3. Características Biológicas y Ecológicas | 26 |
| 2.1.4. Producción y Rendimiento | 27 |
| 2.1.5. Composición química y valor nutricional | 27 |
| 2.1.5.1. Composición química | 29 |
| 2.1.5.2. Vitaminas y minerales | 30 |
| 2.1.5.3. Calidad proteica | 30 |
| 2.1.5.4. Compuestos fenólicos y mucílagos | 31 |
| 2.1.5.5. Compuestos tóxicos | 32 |
| 2.1.5.5.1. Compuestos amargos..... | 32 |
| 2.1.5.5.2. Oxalato de Calcio | 33 |
| 2.1.5.5.3. Acido cianhídrico | 33 |
| 2.1.5.5.4. Saponinas | 33 |
| 2.1.6. Usos | 34 |

| | | |
|----------|---|----|
| 2.1.6.1 | Alimentación humana | 34 |
| 2.1.6.2 | Alimentación animal | 35 |
| 2.1.6.3 | Medicina y farmacología | 36 |
| 2.2. | DEL PRODUCTO | 36 |
| 2.2.1. | Generalidades | 36 |
| 2.2.2. | Almidón de Papa Aérea y Propiedades | 38 |
| 2.2.3. | Composición química | 39 |
| 2.2.3.1. | Humedad | 40 |
| 2.2.3.2. | Lípidos (sustancias grasas) | 41 |
| 2.2.3.3. | Proteínas | 41 |
| 2.2.3.4. | Fósforo | 42 |
| 2.2.3.5. | Sabor y sustancias de olor | 43 |
| 2.2.4. | Estructura molecular | 45 |
| 2.2.4.1 | Amilosa | 45 |
| 2.2.4.2 | Amilopectina | 49 |
| 2.2.5 | Propiedades Físicas y Químicas de los Almidones | 52 |
| 2.2.5.1. | Aspecto microscópico y tamaño de gránulos | 52 |
| 2.2.5.2. | Solubilidad y poder de hinchamiento | 56 |
| 2.2.5.3. | Afinidad al Yodo | 58 |
| 2.2.5.4. | Calentamiento del almidón en agua | 60 |
| 2.2.5.5. | Temperatura de gelatinización | 63 |
| 2.2.5.6. | Viscosidad de las pastas de almidón | 66 |
| 2.2.5.7. | Las enzimas en el almidón | 67 |
| 2.2.6 | Derivados del almidón | 70 |
| 2.2.7 | Usos del Almidón | 73 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.3. | PROCESO DE OBTENCION DEL ALMIDON POR VIA HUMEDA | 75 |
| 2.3.1. | Lavado | 78 |
| 2.3.2. | Pelado | 78 |
| 2.3.3. | Rallado | 79 |
| 2.3.4. | Extracción | 79 |
| 2.3.5. | Tamizado | 79 |
| 2.3.6. | Sedimentación | 80 |
| 2.3.7. | Centrifugación | 81 |
| 2.3.8. | Secado | 82 |
| III. | MATERIALES Y METODOS | 83 |
| 3.1. | Lugar de ejecución | 83 |
| 3.2. | Materia prima | 83 |
| 3.3. | Equipos y materiales utilizados..... | 86 |
| 3.4. | Reactivos..... | 86 |
| 3.5. | Método Experimental | 87 |
| 3.5.1. | Obtención del Almidón de papa aérea a Nivel de Laboratorio. | 87 |
| 3.5.2. | Preparación | 87 |
| 3.5.3. | Extracción | 88 |
| 3.5.4. | Purificación | 88 |
| 3.6. | Flujo de Obtención de almidón de ñame congo “papa aérea” . | 88 |
| 3.6.1. | Recolección o Cosecha..... | 90 |
| 3.6.2. | Transporte..... | 90 |
| 3.6.3. | Recepción..... | 90 |

| | |
|---|----|
| 3.6.4. Selección y clasificación..... | 90 |
| 3.6.5. Pesado..... | 91 |
| 3.6.6. Lavado..... | 91 |
| 3.6.7. Pelado..... | 91 |
| 3.6.8. Cortado o Laminado..... | 91 |
| 3.6.9. Extracción..... | 92 |
| 3.6.9.1. Reducción a finos..... | 92 |
| 3.6.9.2. Tamizado..... | 92 |
| 3.6.9.3. Sedimentación..... | 93 |
| 3.6.9.4. Purificación..... | 93 |
| 3.6.10. Secado..... | 93 |
| 3.6.11. Envasado..... | 94 |
| 3.7. Métodos de control | 94 |
| 3.7.1. Control de materia prima | 94 |
| 3.7.1.1. Características biométricas y propiedades físicas..... | 94 |
| 3.7.1.1.1. Características biométricas..... | 94 |
| 3.7.1.1.2. Densidad..... | 95 |
| 3.7.1.2. Análisis químico proximal | 95 |
| 3.7.1.2.1. Humedad..... | 95 |
| 3.7.1.2.2. Proteína total..... | 95 |
| 3.7.1.2.3. Grasa total..... | 95 |
| 3.7.1.2.4. Ceniza total..... | 96 |
| 3.7.1.2.5. Fibra total..... | 96 |
| 3.7.1.2.6. Carbohidratos totales..... | 96 |
| 3.7.2. Controles durante el proceso..... | 96 |

| | |
|--|----------|
| 3.7.3. Controles en el producto terminado | 96 |
| 3.7.3.1. Análisis químico proximal | 97 |
| 3.7.3.1.1. Humedad..... | 97 |
| 3.7.3.1.2. Proteína total..... | 97 |
| 3.7.3.1.3. Grasa total..... | 97 |
| 3.7.3.1.4. Ceniza total..... | 97 |
| 3.7.3.1.5. Fibra total..... | 97 |
| 3.7.3.1.6. Carbohidratos totales..... | 98 |
| 3.7.3.2. Determinación de almidón, azúcares reductores y Azúcar total | 98 98 |
| 3.7.3.3. Determinación del contenido Oxalato de Calcio | 98 |
| 3.7.3.4. Determinación de Calcio..... | 98 |
| 3.7.3.5. Determinación del pH y acidez total | 99 |
| 3.7.3.5.1. Determinación del pH..... | 99 |
| 3.7.3.5.2. Determinación de la Acidez..... | 99 |
| 3.7.3.6. Aspecto microscópico y tamaño de partículas | 99 |
| 3.7.3.6.1. Aspecto microscópico..... | 99 |
| 3.7.3.6.2. Tamaño y distribución de partículas..... | 100 |
| 3.7.3.7. Porcentaje de gránulos dañados | 101 |
| 3.7.3.8. Solubilidad y poder de hinchamiento | 101 |
| 3.7.3.9. Afinidad al yodo | 101 |
| 3.7.3.10. Determinación de la temperatura de gelatinización | 102 |
| 3.7.3.11. Curva de viscosidad | 102 |
| 3.7.3.12. Gelificación del almidón | 103 |
| 3.7.3.13. Control microbiológico | 103 |

| | |
|---|-----|
| 3.7.3.14. Análisis sensorial..... | 104 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSION | 105 |
| 4.1. De la materia prima | 105 |
| 4.1.1 Características biométricas y Propiedades físicas | 105 |
| 4.1.1.1. Características biométricas..... | 105 |
| 4.1.1.2. Color..... | 106 |
| 4.1.1.3. Densidad..... | 109 |
| 4.1.2 Análisis químico proximal de los bulbos | 111 |
| 4.2. Del producto obtenido (Almidón)..... | 113 |
| 4.2.1. Aislamiento | 113 |
| 4.2.2. Composición químico proximal del almidón de papa aérea | 113 |
| 4.2.3. Análisis físicos – químicos efectuados en el almidón de papa aérea (<i>Dioscorea bulbifera</i>) | 116 |
| 4.2.4. Aspecto microscópico y tamaño de partículas | 119 |
| 4.2.4.1. Aspecto microscópico | 119 |
| 4.2.4.2. Tamaño y distribución de partículas | 124 |
| 4.2.5. Porcentaje de gránulos dañados | 131 |
| 4.2.6. Solubilidad y poder de hinchamiento | 131 |
| 4.2.7. Afinidad al yodo | 137 |
| 4.2.8. Determinación de la temperatura de gelatinización | 140 |
| 4.2.9. Curva de viscosidad..... | 144 |
| 4.2.10. Gelificación del almidón | 148 |
| 4.2.11. Análisis Microbiológico | 148 |
| 4.2.12. Análisis Sensorial | 149 |
| 4.3. Diagrama de Flujo definitivo para la obtención del almidón de | |

| | |
|---|-----|
| papa aérea (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.) | 152 |
| V. CONCLUSIONES | 155 |
| VI. RECOMENDACIONES | 157 |
| VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 159 |
| VIII. ANEXOS | 167 |

INDICE DE CUADROS

| Nº | TITULO | Pag. |
|-----|---|------|
| 01. | Producción, Area de Cultivo y Rendimiento de Ñame (<i>Dioscorea spp.</i>) a Nivel Mundial..... | 28 |
| 02. | Composición Química Proximal de Algunas Especies de Ñames (<i>Dioscorea spp.</i>) y de Otros Cultivos Alimenticios Ricos en Carbohidratos (Contenido en 100 gr. de Parte Comestible)..... | 29 |
| 03. | Contenido de Vitaminas y Minerales de Algunas Especies de Ñames (<i>Dioscorea spp.</i>). (Contenido en 100 gr. de Parte Comestible)..... | 31 |
| 04. | Composición Química Promedio de Gránulos de Almidón..... | 40 |
| 05. | Composición de Diversos Productos Vegetales Ricos en Almidón (gr./100 gr. de Materia Seca)..... | 43 |
| 06. | Contenido de Amilosa y Amilopectina en Almidones Naturales..... | 50 |
| 07. | Propiedades Físicas y Químicas de los Componentes Lineales y Ramificados..... | 52 |
| 08. | Propiedades de los Gránulos de Almidón..... | 55 |
| 09. | Afinidad al Yodo de los Almidones..... | 58 |
| 10. | Márgenes de Gelificación de Diferentes Almidones Alimenticios. | 64 |
| 11. | Características de La Gelatinización de Los Almidones Nativos..... | 66 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 12. | Características de Tres Tipos de Enzimas..... | 69 |
| 13. | Modificación de los Almidones..... | 72 |
| 14. | Características Biométricas de los Bulbos de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>) | 105 |
| 15. | Análisis Químico Proximal de los Bulbos de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>), Contenido en 100gr. de Parte Comestible..... | 111 |
| 16. | Composición Químico Proximal del Almidón de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>), Contenido en 100gr. de Almidón..... | 114 |
| 17. | Análisis Físicos Químicos del Almidón de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>),..... | 117 |
| 18. | Distribución de los Gránulos de Almidón de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>), según Diversas Formas..... | 124 |
| 19. | Determinación del Tamaño de Partículas del Almidón de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>)..... | 126 |
| 20. | Cuadro de la Lectura de Gránulos Dañados..... | 131 |
| 21. | Valores Promedio del Porcentaje de Solubilidad y Poder de Hinchamiento del Almidón de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>)..... | 134 |
| 22. | Miligramos de Yodo Combinados con 100 mg. del Almidón de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>)..... | 138 |
| 23. | Afinidad al Yodo del Almidón de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>)..... | 138 |
| 24. | Temperatura de Gelatinización del Almidón de Papa Aérea. | |

| | | |
|-----|---|-----|
| | <i>(Dioscorea bulbifera L.)</i> | 140 |
| 25. | Lecturas de los Cambios de Viscosidad en Función al Tiempo y Temperatura. | 144 |
| 26. | Resultado de los Análisis Microbiológicos Practicados en el Almidón de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>)..... | 149 |
| 27. | Promedios de la Prueba de Diferencia de las Muestras de Almidón de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>) Sometidos a Diferentes Relaciones de Materia Prima/Agua | 150 |
| 28. | ANVA para las Características de Color, Olor y Textura del Almidón de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>), Sometidos a Diferentes Relaciones de Materia Prima/Agua | 151 |
| 29. | Prueba de Duncan al 5% para las Características de Color y Olor del Almidón de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>), Sometidos a Diferentes Relaciones de Materia Prima/Agua. ... | 152 |

INDICE DE FIGURAS

| Nº | TITULO | Pag. |
|-----|--|------|
| 01. | Grupo Ester de Fosfato en Almidón de Papa y Almidón Monofostato..... | 44 |
| 02. | Estructura Lineal en Cadena de las Moléculas de Amilosa..... | 48 |
| 03. | Estructura de la Amilopectina, Indicando Puntos de Ramificación..... | 51 |
| 04. | Modelo Esquemático de la Estructura de los Gránulos de Almidón..... | 54 |
| 05. | Distribución de los Gránulos de Almidón de Papa..... | 57 |
| 06. | Representación de un Acido Orgánico Formando un Clatrato con Amilosa..... | 59 |
| 07. | Amilograma Retocado, de un Sistema Almidón - Agua Mostrando Empaste, Aclarado Mecánico y Vuelta al Endurecimiento..... | 62 |
| 08. | Hinchamiento, Ruptura y Dispersión de los Gránulos de Almidón Durante la Gelatinización..... | 65 |
| 09. | Diagrama de Flujo del Proceso de Obtención de Almidón por Vía Húmeda..... | 77 |
| 10. | Diagrama de Flujo Preliminar para la Obtención de Almidón de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>). | 89 |
| 11. | Planta de Papa Aérea "Ñame" o "Cará de Rama" (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>)..... | 108 |
| 12. | Planta de Papa Aérea "Ñame" o "Cará de Rama" (<i>Dioscorea</i> | |

| | | |
|-----|--|-----|
| | <i>bulbifera L.</i>)..... | 109 |
| 13. | Frutos o Bulbos de Papa Aérea “Ñame” o “Cará de Rama” (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>)..... | 109 |
| 14. | Diversas Formas de Bulbos de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>)..... | 110 |
| 15. | Fotografía al Microscopio Optico de Granos de Almidón de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>), con un Aumento de 400x, Obsérvese la Forma de los Granos..... | 121 |
| 16. | Fotografía al Microscopio Optico de Granos de Almidón De Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>), con un Aumento Total de 1000x..... | 122 |
| 17. | Fotografía de Gránulos de Almidón de Yuca y Papa. | 123 |
| 18. | Curva de Distribución de Tamaño de Gránulos de Almidón de Papa Aérea en base al Número..... | 129 |
| 19. | Curva de Distribución de Tamaño de Gránulos de Almidón de Papa Aérea en base al Peso..... | 130 |
| 20. | Cambios de la Solubilidad del Almidón de Papa Aérea con la Temperatura..... | 135 |
| 21. | Cambios del Poder de Hinchamiento del Almidón de Papa Aérea con la Temperatura..... | 136 |
| 22. | Adsorción del Yodo por el Almidón de Papa Aérea..... | 139 |
| 23. | Fotografía al Microscopio Optico de Granos de Almidón de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>), Pregelatinizado a la Temperatura de 75°C..... | 142 |
| 24. | Fotografía al Microscopio Optico de Granos de Almidón de | |

| | | |
|-----|--|-----|
| | Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>), Gelatinizado a la Temperatura de 95°C..... | 143 |
| 25. | Curva de Viscosidad del Almidón de Papa Aérea en Función de la Temperatura. | 145 |
| 26. | Diagrama de Flujo Optimo para la Obtención de Almidón de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>)..... | 153 |
| 27. | Balance de Masa en la Obtención del Almidón de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>). | 154 |
| 28. | Fotografía de Muestras de Almidón de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>)..... | 175 |
| 29. | Trasparencia de las Pastas de Almidón de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>), y de Yuca (<i>Manihot Esculenta C</i>) al 5% de Concentración. | 176 |
| 30. | Curva Estándar de Glucosa. | 181 |

INDICE DE ANEXOS

| Nº | TITULO | Pag. |
|-----|---|------|
| 01. | Especificaciones Técnicas para los Almidones de Maíz no Modificados para Uso Industrial, Alimenticio y Farmacéutico... | 168 |
| 02. | Ficha de Prueba de Diferencia. | 169 |
| 03. | Cálculos Estadísticos del Análisis Sensorial..... | 170 |
| 04. | Fotografía de Muestras de Almidón de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbífera L.</i>); se Observa el Color del Almidón Obtenido. | 175 |
| 05. | Transparencia de las Pastas de Almidón de Papa Aérea (<i>Dioscorea bulbífera L.</i>), y de Yuca (<i>Manihot esculenta C</i>) al 5% de Concentración. | 176 |
| 06. | Determinación de Almidón Azúcares Reductores y Azúcar Total. | 177 |
| 07. | Curva Estándar de Glucosa. | 181 |
| 08. | Determinación del Contenido de Oxalato de Calcio | 182 |
| 09. | Solubilidad y Poder de Hinchamiento. | 183 |
| 10. | Afinidad al Yodo. | 184 |

RESUMEN

El presente trabajo de investigación busca la utilización de los cultivos silvestres aún no explotados, como es el caso de la papa aérea, sachapapa o ñame (*Dioscorea bulbifera L.*); los cuales se encuentran distribuidos en toda la región de San Martín y parte de Loreto (provincia de Alto Amazonas), en forma cultivada o silvestre, y que además no requieren de mayores exigencias en suelos y que pueden crecer en suelos ácidos, shapumbales y terrenos ya explotados por el hombre; el estudio comprendió varios análisis: a la materia prima, al almidón y a las características físico químicas necesarias.

Se utilizó como materia prima los bulbos aéreos, que pesaron de 26 a 567.3 gr, con un peso promedio de 147.2 gr, las mediciones promedio del tamaño fueron de 9 cm de largo, 6.04 cm de ancho y 4.47 cm de altura o espesor; la mayoría de los bulbos aéreos estudiados poseen forma arriñonada, hepática y poliédrica.

El análisis químico proximal de los bulbos frescos reporta un contenido de 64.996% de humedad, 1.388% de proteínas, 0.35% de grasa, 1.04% de cenizas y el 0.873% de fibra. Los carbohidratos totales 31.3530%, de los cuales 25.6202% de almidón, 3.2615% de azúcares reductores, y 2.4713 % de otros carbohidratos.

La fracción de almidón alcanzó un porcentaje de extracción del 20.47 %, la composición química proximal del almidón de papa aérea (*Dioscorea bulbifera L.*), fue de 13.46% de humedad, 0.22% de proteínas, 0.13% de

grasa, 0.214% de cenizas, 0.58% de fibra, 85.918% de carbohidratos totales, de los cuales 0.1296% representan azúcares reductores y 85.7884% de almidón en base húmeda. Otros análisis realizados reportaron 0.0326% de acidez total expresado en porcentaje de ácido sulfúrico, un valor de pH de 6.47, el contenido de oxalato de calcio de 74.21mg/100gr y contenido de calcio de 23.19mg/100gr.

Los gránulos de almidón estudiados presentan formas geométricas distintas pero la gran mayoría presentan formas triangulares con puntas redondas u ovaladas, el tamaño de los gránulos oscila en el rango de 8 a 75 μm de largo, con un tamaño promedio en base al número de 35.73 μm , que se ubica en el rango de 21 a 40 μm y tamaño promedio en base al peso de 45.89 μm .

El análisis de las características físicas del almidón de papa aérea (*Dioscorea bulbifera L.*), muestran un bajo porcentaje de solubilidad de 24.03 % y el poder de hinchamiento de 25.03 a la temperatura de 95°C. La afinidad al yodo registra un valor de 4.53, lo que indica un alto contenido de amilosa. La temperatura de gelatinización se ubica en el rango de temperatura de 72 a 95°C, considerada como gelatinización lenta.

El análisis microbiológico registra valores muy por debajo de los límites permitidos para almidones, lo que demuestra que se trabajó con buenas condiciones de higiene y limpieza en el proceso de obtención del almidón de papa aérea (*Dioscorea bulbifera L.*)

ABSTRACT

The present paper of investigation searches the use of rustic cultures still unexploited, like is the case of air potato, sachapapa o ñame (*Dioscorea bulbifera* L.); which find distributed all around region San Martin and part of Loreto (province Alto Amazonas), in cultivated or rustic form, and moreover they do not require more urgent in soils and that can develop into acid soils, shapumbals and fields exploited by the man; the study comprehended several analysis: raw material, starch and necessary physic-chemical properties.

It used as raw material the air bulbs, that they did weigh 26 to 567.3 gr., with a average weight 147.2 gr., average measures of size were 9 cm. large , 6.04 cm. wide and 4.47 cm. height or thickness; the majority of studied air bulbs got kidney-shaped, hepatic and polyhedric form.

The analysis proximal chemistry of fresh bulbs reports a content of 64.996% moisture, 1.388% protein, 0.35% fat, 1.04% ash , 0.873% fiber and 31.3530% total carbohydrates, which were 25.6202% starch, 3.2615% reductor sugars, and 2.4713% another carbohydrates.

The starch fraction reached a extraction percentage of 20.47%, proximal chemistry composition of air potato starch (*Dioscorea bulbifera* L.), was 13.46% moisture, 0.22% protein, 0.13% fat, 0.214% ash, 0.58% fiber, 85.918% total carbohydrates, which were

0.1296% reductor sugars and 85.7884% starch humidity base. Other analysis reached were 0.0326% total acidity expressed in sulphur acid percentage, a pH 6.47, calcium oxalate content 74.21 mg/100 gr and content of calcium 23.19 mg/100 gr.

The studied starch granules present different geometrical forms but great majority got triangular shapes with round or oval points, size of granules fluctuates in the range 8 to 75 μm large, with a average diameter sized by number 35.73 μm , that it is in the range 21 to 40 μm and average diameter sized by weight 45.89 μm .

The analysis of starch physical characteristics of air potato (*Dioscorea bulbifera L.*), show a low percentage of solubility 24.03% and swelling power 25.03 at 95°C. The iodine affinity records a value 4.53, that indicates a high content of amylose. The temperature of gelatinization is in the range 72 to 95°C, considered as slow gelatinization.

The microbiological analysis record values very under allowed limits for starches, that demonstrates it did work with good conditions of hygiene and cleanliness in the process of air potato starch (*Dioscorea bulbifera L.*) extraction.

I. INTRODUCCION

El almidón es un polisacárido de reserva de las plantas, se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, en las semillas de granos de cereales (maíz, arroz, trigo, sorgo), tubérculos (papa), raíces (camote, yuca), frutas (plátano, manzana), en las leguminosas (frijoles y lentejas). Debido a sus propiedades físico químicas y funcionales tanto en su forma natural como en su forma modificada y a su bajo costo, presentan gran utilización como agentes espesantes y para aumentar la viscosidad de las salsas y los potajes; agente estabilizante de geles o emulsiones, así como elementos ligantes y agentes de relleno en salchichas; notando que estas propiedades funcionales dependen del origen botánico del almidón o de las modificaciones introducidas en su estructura.

Después de los cereales y raíces, los tubérculos constituyen un grupo importante de vegetales usados directa o indirectamente en la alimentación especialmente en los países tropicales, en el Perú se cultivan cereales a gran escala como el arroz, el maíz, tubérculos como la papa, raíces como el camote y la yuca pero la producción es deficiente para el consumo en forma directa y también para la producción comercial de almidón; por lo tanto existen ciertas especies tropicales que actualmente se encuentran en forma silvestre o como cultivos experimentales que pueden utilizarse como fuentes productoras de almidones dentro de estas tenemos al género *Dioscorea* y específicamente a la especie *Dioscorea bulbifera* L. conocida como papa aérea ó sachapapa ó ñame congo; que se presenta en forma de

grandes bulbos aéreos, que pueden constituirse en un cultivo alternativo para la recuperación de suelos ácidos, shapumbales, purmas y que, está empezando a tener importancia socio - económica y tecnológica, existiendo en la actualidad investigaciones sobre manejo agronómico, los cuales han reportado rendimientos tanto en la zona del Alto y Bajo Mayo de la Región San Martín de 18 y 14.6 TM/Ha respectivamente. Así mismo existe investigaciones desarrolladas sobre la obtención de la Harina de papa aérea, por lo que el presente trabajo busca complementar los estudios iniciados sobre la transformación agroindustrial de los bulbos aéreos de *Dioscorea bulbifera* L.

Ante las posibilidades de la transformación agroindustrial de este cultivo tropical, el presente trabajo plantea los siguientes objetivos:

1. Obtener y caracterizar el almidón de papa aérea (*Dioscorea bulbifera* L.), conocida como "ñame congo".
2. Realizar las determinaciones físico químicas y microbiológicas del almidón obtenido.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. MATERIA PRIMA

2.1.1. Generalidades

Después de los cereales, los cultivos de raíces y tubérculos, ocupan el segundo lugar a nivel mundial en área sembrada y volumen de producción. Estos cultivos, comprenden principalmente la papa (*Solanum tuberosum*), la yuca (*Manihot esculenta*), el camote (*Ipomoea batatas*), el ñame (*Dioscorea spp*), la pituca (*Colocasia esculenta*) y el ócumo (*Xanthosoma sagittifolium*). Dentro de los cultivos tropicales amazónicos aún no explotados y de gran consumo por ciertos sectores de la población están las principales especies alimenticias de ñames tropicales como: *Dioscorea alata*, *Dioscorea cayenensis*, *Dioscorea bulbífera*, *Dioscorea trifida* y *Dioscorea esculenta* (MONTALDO, 1991).

La papa aérea (*Dioscorea bulbífera L; opsifiton*), es una planta perteneciente a la familia *Dioscorea*, género *Dioscorea* y división *opsifiton*, que se distingue de las otras especies por que se cosecha en forma de grandes bulbos aéreos, que nacen en las axilas de las hojas; siendo descritos como nutritivos, sabrosos y ricos en "gluten", y consumidos en forma cocida y en la preparación de sopas. Los tubérculos subterráneos son reducidos, pequeños (algunas veces ausentes), generalmente duros, amargos e impalateables, (GIACOMETTO, 1986).

2.1.2. Características Botánicas

2.1.2.1. Nombres comunes

La especie toma diferentes nombres vulgares tales como: ñame congo (Venezuela); ñame del aire (Colombia); Papa del aire, Papa caribe (Costa Rica); Cará del aire, Cará de rama, Batata de rama (Brasil); Pousse en l'air (Francia); Kadu-Karanga (India); Dana, Danda (Guinea); Ubi- ubihan (Filipinas); Potato yam, Air potato (Inglaterra). En el Perú, es conocida como papa magona (provincia de la Convención - Cuzco) y papa aérea (Alto Mayo - San Martín), según ZEVALLOS (1985) y JUAREZ (1995), respectivamente.

2.1.2.2. Clasificación Taxonómica

Según lo referido por MONTALDO, (1991), la papa aérea tiene la siguiente clasificación taxonómica:

| | | |
|------------|-------|------------------------|
| Superreino | ..... | Eucaryotes |
| Reino | ..... | Vegetal |
| Subreino | ..... | Embryophyta |
| Phyllum | ..... | Tracheophyta |
| Superclase | ..... | Angiosperma |
| Clase | ..... | Monocotyledoneae |
| Orden | ..... | Liliales |
| Familia | ..... | Dioscoreaceae |
| Género | ..... | Dioscorea |
| Especie | ..... | Dioscorea bulbífera L. |

Sinonimia *D. tamifolia*, *D. tunga*, *Helmia bulbífera*.

2.1.2.3. Centro de origen y distribución

El ñame (*Dioscorea spp*), es oriundo de las regiones del sudeste asiático donde se conoce la mayor diversidad de especies. De allí se desplazó hacia las zonas tropicales de Africa y América (USTIMENKO, 1982). En el Perú, la papa aérea se halla distribuida en zonas de clima húmedo y subtropical, encontrándose en forma abundante y silvestre en la provincia de la Convención - Cuzco y en toda la Amazonía (ZEVALLOS, 1985). En la Región de San Martín y parte de Loreto (Provincia de Alto Amazonas) se distribuyen tres especies de ñames o sachapapas: *Dioscorea bulbífera*, *Dioscorea alata* y *Dioscorea trifida* (ROJAS, 1992). En el Alto Mayo - Región San Martín, *Dioscorea bulbífera* se halla en forma silvestre en todo el valle; a orillas de los ríos y en zonas como: Naranjos, Posic, Tangumí, entre otros. Sin embargo, desde el año 1993, la Fundación para el Desarrollo Agrario del Alto Mayo - Moyobamba viene realizando estudios de manejo agronómico y control fitosanitarios, manteniéndose el cultivo con el fin de afianzar los estudios iniciados y de su posible agroindustrialización (JUAREZ, 1995).

2.1.2.4. Morfología

La papa aérea es una planta tropical de ciclo anual, herbácea, trepadora, que puede alcanzar hasta 10 - 12 m de longitud. Hojas simples,

enteras, cordiformes, de 3 - 12 cm de ancho por 6 - 30 cm de largo, con peciolos envolventes en la base, alternas u opuestas. Tallos cilíndricos, lisos, de 4 - 6 mm de diámetro, que arrollan a la derecha e izquierda. Raíz fasciculada. Plantas unisexuales; inflorescencia estimada en racimos de hasta 20 cm de largo, con flores relativamente grandes, verdosa o rosado - pálido, con tres sépalos, tres pétalos y dos ciclos de tres estambres cada uno; inflorescencia pistilada en pares de racimos, con el perianto similar a las anteriores y pistilo con estigma trífidio. Los frutos son cápsulas triloculares de 2 - 5 cm de largo, con dos semillas en cada lóculo (JUAREZ, 1995; KIBUUKA, 1983; ROJAS, 1992).

Los bulbos o tubérculos aéreos nacen en las axilas de las hojas, al inicio son pequeñas esferas y alcanzando la madurez se desprenden de la planta (LEON, 1987). Normalmente pesan los 500 gr., pudiendo alcanzar hasta 2 Kg. (GIACOMETTO, 1986). Tienen formas irregulares; reniformes, hepaticiformes o poliédricas (KIBUUKA, 1983; ZEVALLOS, 1995), siendo por lo general arriñodados, de color marrón claro, de 5- 8 cm de ancho por 8 - 21 cm de largo, de cáscara fina y pulpa de color púrpura cuando están maduros (JUAREZ, 1995).

En un estudio histológico, al observar un corte transversal del tubérculo aéreo se distinguen tres zonas: epidérmica, cortical y medular. La zona epidérmica está formada por un estrato de súber y 2 - 3 estratos de tejido epidérmico (subepidérmico) de células poliédricas. Las zonas cortical y medular presentan tejido conductor libero-leñoso (floema - xilema), los haces

conductores se hallan dispersos en toda la zona cortical y alternan con el tejido parenquimático (reservante amiláceo); la presencia de rafideas es escasa (ZEVALLOS, 1995).

2.1.3. Características biológicas y ecológicas

Dioscorea bulbifera tiene un período vegetativo de 10 meses (siembra - cosecha). La germinación se inicia a los 20 días, fructificación a los 3 - 4 meses y la floración a los 7 meses. La cosecha de los tubérculos aéreos se inicia a los 7 - 8 meses y termina a los 10 meses de instalado el cultivo (JUAREZ, 1995). Comparada con otras especies del género *Dioscorea*, es una especie precoz con 280 - 287 días a senescencia (ROJAS, 1992).

MONTALDO (1991), cita los requerimientos climáticos y edáficos de las especies alimenticias de ñames o sachapapas: temperatura óptima entre 25°C y 30°C, 20°C se considera como mínima; no soporta heladas; soportan vientos suaves; necesitan de abundante lluvia, entre 1000 y 1500 mm de precipitación anual, existiendo una correlación positiva entre cantidad de lluvia, crecimiento de los tallos y rendimiento; el fotoperiodo para engrosar órganos reservantes de almidón es corto; 12 hr. y latitud 15°N a 15°S; los mejores rendimientos se obtienen en suelos franco, franco - arcilloso - arenosos con algo de materia orgánica; no se producen en suelos arenosos o arcillosos; toleran un amplio rango de pH, siendo lo óptimo entre 5 y 6;

requieren de fertilización con N, K y en lo posible cierta proporción de materia orgánica.

2.1.4. Producción y rendimiento

Los ñames tienen importancia en la economía de Africa Occidental (Costa de Marfil, Ghana, Nigeria, Togo y Dahomey), debido a que dan mejores rendimientos que los cereales bajo las condiciones de alta pluviosidad de estas áreas. En América solo es importante en Brasil, Colombia, Haití y Venezuela, tal como se observa en el cuadro 01:

Las áreas principales de ñame (*Dioscorea spp*) se encuentran en las regiones tropicales de Africa. El área mundial de este cultivo alcanza 2 446 000 Ha, con una producción de 24 520 000 TM y rendimiento medio de 9.9 TM/Ha (SCOTT, 1992).

ROJAS (1992), en una evaluación comparativa de clones de sachapapa (*Dioscorea spp*) en el Bajo Mayo - San Martín, determinó rendimientos de hasta 16.7 TM/Ha; correspondiendo 12.5 TM/Ha a la especie *Dioscorea bulbífera*. En el Alto Mayo, para condiciones de suelos ácidos, durante 1994 se obtuvieron rendimientos de hasta 18 TM/Ha de papa aérea (JUAREZ, 1995).

CUADRO 01: PRODUCCION, AREA DE CULTIVO Y RENDIMIENTO DE ÑAME (*Dioscorea spp*). A NIVEL MUNDIAL.

| PAIS | PRODUCCION | AREA | RENDIMIENTO |
|-----------------|---------------|--------------|-------------|
| | TON x 1000 | Ha x 1000 | TON / Ha. |
| AFRICA | 22 300 | 2 344 | 9.4 |
| Nigeria | 16 625 | 1 500 | 11.0 |
| Costa de Marfil | 2 320 | 300 | 7.0 |
| Ghana | 450 | 110 | 4.0 |
| Otros | 2 905 | 434 | - |
| AMERICA | 689 | 91 | 7.3 |
| Brasil | 180 | 20 | 9.0 |
| Colombia | 172 | 15 | 11.4 |
| Haití | 120 | 36 | 3.3 |
| Venezuela | 34 | 6 | 5.7 |
| Otros | 183 | 14 | - |
| ASIA | 160 | 17 | 9.8 |
| Japón | 135 | 8 | 15.5 |
| Filipinas | 25 | 9 | 2.9 |
| OCEANÍA | 210 | 15 | 13.8 |
| Papúa – Nva. | 168 | 10 | 14.9 |
| Guinea | 12 | 2 | 7.0 |
| Nva. Caledonia | 10 | 1 | 7.0 |
| Otros | 20 | 2 | - |
| TOTAL | 23 359 | 2 467 | 9.4 |

2.1.5. Composición química y valor nutricional

2.1.5.1. Composición Química

Los ñames (*Dioscorea spp*), son una excelente fuente de energía dado a que su materia seca contiene carbohidratos en abundancia, principalmente almidón en un 70 - 80 % (AGBOR, 1975; MATOSSIAN, 1980).

CUADRO 02: COMPOSICION QUIMICO PROXIMAL DE ALGUNAS ESPECIES DE ÑAMES (*Dioscorea spp*). Y DE OTROS CULTIVOS ALIMENTICIOS RICOS EN CARBOHIDRATOS. (Contenido en 100 gr de parte comestible)

| ALIMENTO | Kcal. | COMPONENTES | | | | | | REFE- RENCIA |
|--------------------|-------|-------------|----------|-------|--------------|-------|--------|-----------------|
| | | Humedad | Proteína | Grasa | Carbohidrato | Fibra | Ceniza | |
| Ñame o sachapapa: | | | | | | | | |
| S. blanca (bulbo). | 126 | 67.20 | 2.50 | 0.10 | 29.40 | - | 0.80 | (1) |
| S. (tubérculo) | 141 | 62.60 | 2.70 | 0.10 | 33.00 | - | 1.60 | (1) |
| S. (bulbo aéreo) | 138 | 64.60 | 2.30 | 0.30 | 32.00 | - | 0.80 | (1) |
| S. (bulbo aéreo) | - | 68.00 | 1.55 | 0.03 | - | - | 0.72 | (2) |
| S. (bulbo aéreo) | 140 | 63.05 | 1.22 | 0.04 | 33.88 | 0.74 | 1.07 | (3) |
| Papa blanca | 97 | 74.50 | 2.10 | 0.10 | 22.30 | 0.60 | 1.00 | (1) |
| Camote amarillo | 116 | 69.90 | 1.20 | 0.20 | 27.60 | 1.00 | 1.10 | (1) |
| Yuca blanca | 162 | 58.90 | 0.80 | 0.20 | 39.30 | 1.10 | 0.80 | (1) |
| Pituca | 102 | 73.70 | 1.60 | 0.50 | 23.20 | 0.80 | 1.00 | (1) |
| Plátano verde | 152 | 57.00 | 1.00 | 0.20 | 40.90 | 0.80 | 0.90 | (1) |
| Maíz amarillo | 312 | 17.20 | 8.40 | 1.10 | 69.40 | 3.80 | 1.20 | (1) |
| Arroz pulido | 359 | 13.10 | 8.20 | 0.50 | 77.80 | 0.40 | 0.40 | (1) |
| Trigo | 336 | 14.50 | 8.60 | 1.50 | 73.70 | 3.00 | 1.70 | (1) |

Fuente: (1) COLLAZOS, 1996; (2) JUAREZ, 1995; (3) KIBUUKA, 1983.

Presentan baja cantidad de proteínas, llegando a ser significativa cuando son consumidas en gran cantidad; su materia seca, comparada con otros

cultivos de raíz (tal como la yuca), posee alto contenido de proteínas, pero es inferior a la mayoría de cereales (FRANCIS, 1975; MATOSSIAN, 1980). Contienen 60 - 80% de agua, 1 - 2.8% de proteína bruta, 22 - 29% de carbohidratos, menos de 1 % de azúcares reductores, 0.03 - 1.2 % de grasa, 0.2 - 1.5% de fibra cruda, y 0.5 - 2.6% de ceniza (FABOYA, 1981; F.A.O., 1990; MATOSSIAN, 1980). La composición proximal de algunas especies comestibles de ñames y de otros cultivos alimenticios, se muestra en el cuadro 02:

2.1.5.2. Vitaminas y minerales

Los ñames (*Dioscorea spp*) son una buena fuente de vitamina C y contienen vitaminas del complejo B (B1, B2, y B6) (MATOSSIAN, 1980), aunque existen muchos cultivares que contienen cantidades considerables de vitamina A (F.A.O., 1990). Están sustancialmente provistos de minerales, siendo el Ca, P y Fe los más importantes (MATOSSIAN, 1980).

2.1.5.3. Calidad proteica

Las raíces y tubérculos tropicales (yuca, papa, camote, ñame, pituca, tania y arruruz) son deficientes en aminoácidos azufrados (metionina y cistina), tirosina, isoleucina y triptófano. Los ñames (*Dioscorea spp*) contienen 7 - 11% de proteínas (base seca), pero son deficientes en aminoácidos azufrados y triptófano (SPLITTSTOESSER, 1977).

CUADRO 03: CONTENIDO DE VITAMINAS Y MINERALES DE ALGUNAS ESPECIES DE ÑAMES (*Dioscorea spp.*). (Contenido en 100 gr de parte comestible).

| ALIMENTO | VITAMINAS (mg) | | | | | MINERALES (mg) | | | | | REFERENCIA |
|---------------------------|-------------------|---------|-------------|---------|-----------------|-------------------|-----|------|------|-----|------------|
| | Retinol | Tiamina | Riboflavina | Niacina | Acido ascórbico | Ca | P | Fe | Na | K | |
| Name o sachapapa: | | | | | | | | | | | |
| Sachapapa blanca (bulbo): | | | | | | | | | | | |
| Dioscorea alata | 0.02 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 12.0 | 18 | 96 | 0.50 | - | - | (1) |
| Dioscorea alata | - | - | - | - | - | 17 | 161 | 2.37 | - | - | (2) |
| Dioscorea alata | - | 0.10 | 0.02 | - | 0.80 | 4 | 38 | 0.60 | 7.40 | 545 | (3) |
| Sachapapa (tubérculo): | | | | | | | | | | | |
| Dioscorea trifida | 0.00 | 0.09 | 0.03 | 0.44 | 3.10 | 3 | 30 | 0.70 | - | - | (3) |
| Dioscorea trifida | - | 0.17 | 0.03 | - | 2.10 | 5 | 59 | 0.30 | 29.1 | 576 | (3) |
| Sachapapa (bulbo aéreo) | | | | | | | | | | | |
| Dioscorea bulbífera | 0.66 | 0.70 | 0.70 | 1.00 | 27.0 | 34 | 40 | 2.96 | - | - | (1) |
| Dioscorea bulbífera | - | - | - | - | - | 45 | 231 | 0.35 | - | - | (2) |
| Dioscorea bulbífera | - | 0.08 | 0.04 | - | 3.50 | 11 | 84 | 0.70 | 2.80 | 567 | (3) |

FUENTE: (1) FRANCO, 1992; (2) BAQUAR, 1977; (3) COLLAZOS, 1996.

2.1.5.4. Compuestos fenólicos y mucílagos

Los constituyentes fenólicos (sustratos naturales del oscurecimiento enzimático) presentes en *Dioscorea alata* son: cianidina 3 - glucósido, (+) catequina y procianidina dímeras "beta - 1" y "beta - 3", y evidente presencia de procianidina trímica y tetrámera. En las demás especies, incluido *D. bulbífera*, solo se hallan: procianidina dímeras y (+) catequina (OZO, 1984). La oxidación de la (+) Catequina catalizado por la o-Dihidroxifenoloxidasasa (o-DFOasa) es responsable del oscurecimiento de los ñames. *Dioscorea rotundata* presenta bajo contenido de (+) catequina (90 - 190 mg/Kg) y por lo tanto baja tendencia al oscurecimiento; mientras que

Dioscorea alata contiene 430 - 660 mg/Kg. Las demás especies muestran los siguientes niveles intermedios: 240 mg/Kg. en *D. bulbifera*, 260 mg/Kg. en *D. cayenensis* y 270 mg/Kg. en *D. dumetorum* (OZO, 1984).

El contenido de mucílagos en *Dioscorea bulbifera* alcanza 8.96% (ZEVALLOS, 1985) y está compuesto de glicoproteínas (GIACOMETTO, 1986). El mucílago de *D. alata* (extraído con una solución al 0.1% de NaHSO₃, fraccionado con acetona y purificado con sulfato de sodio dodecil) contiene 52% de carbohidratos, asociado firmemente con proteínas (12.0%) y Cenizas (13.2%).

2.1.5.5. Compuestos tóxicos

Algunas especies de ñames (*Dioscorea spp*) son tóxicas debido a la presencia de alcaloides, saponinas, taninos y cristales de oxalato de calcio (FRANCIS, 1975; MARTIN, 1980).

2.1.5.5.1. Compuestos amargos

La toxicidad y amargura de los tubérculos subterráneos de *Dioscorea bulbifera* se debe a la presencia de 5 compuestos amargos, uno de ellos fue cristalizado e identificado como el norditerpeno furanoide diosbulbin D (0.07 mg/gr. peso fresco). La cocción u horneado no afectan el contenido de diosbulbin D, pero 12 hr. de remojo remueve completamente el compuesto, convirtiéndose los ñames en palatables (WEBSTER, 1984).

2.1.5.5.2. Oxalato de Calcio

Los rafídios o cristales irritantes de oxalato de calcio monohidratado, presentes en los tubérculos de *D. bulbifera*, son considerados como factores de toxicidad (F.A.O., 1990); sin embargo, no constituyen ningún problema nutricional por que son solubles en agua en un 50 - 75% y pueden ser destruidos fácilmente mediante cocción o deshidratación (WANASUNDERA, 1994).

2.1.5.6.3. Acido cianhídrico

Los ñames (*D. alata* y *D. bulbifera*) contienen ácido cianhídrico (HCN) o prúsico en forma de amigdalina, durrina y faseolunatina (linamarina). La ingestión de estos glucósidos no es venenosa ya que en el tracto digestivo humano no existe ninguna β - glucosidasa que pueda descomponer el glucósido, dejando libre el ácido cianhídrico. La cocción tiende a eliminar el ácido cianhídrico y la glucosidasa; además, esta última puede ser inactivada por la saliva, los jugos gástricos, y por la celulosa y glucosa (LINDNER, 1978). La dosis letal de cianuro de hidrógeno libre para un adulto es de 50 - 60 mg, pero la toxicidad del cianuro "combinado" no se conoce tan bien (F.A.O., 1990).

2.1.5.6.4. Saponinas

Las saponinas son glucósidos formados por una sapogenina (genina) y diversos azúcares y ácidos urónicos relacionados; según la estructura de la sapogenina, se conocen dos grupos de saponinas: esteroides (C27) y triterpenoides (C30), ambos con origen biogénico común vía ácido mevalónico y unidades isoprenoides. Las saponinas tienen tres propiedades: sabor amargo, formación de espuma en soluciones acuosas y hemólisis de los glóbulos rojos (FENNEMA, 1993). En algunas especies de ñames la dioscina es la principal saponina esteroide, que por hidrólisis ácida da diosgenina (sapogenina) y componentes glicosídicos (1 glucosa y 2 ramnosas) (EVANS, 1995). Los tubérculos de *D. bulbifera* L. Contienen 1.91% de saponinas (ZEVALLOS, 1985).

Diosgenina es una saponina aglicona, que se obtiene de las raíces de plantas que pertenecen al género *Dioscorea*, las especies más importantes que se usan son: *Dioscorea composita* H y *Dioscorea mexicana* S. Los tubérculos de *Dioscorea* contienen hasta un 5% de diosgenina, las raíces de reserva contienen de 2 – 3% (SAMUELSSON, 1992).

2.1.6. Usos

2.1.6.1. Alimentación humana

Según GIACOMETTO (1986), los ñames (*Dioscorea spp*) se consumen cocidos, en forma de puré, fritos o turrados y en panificación, mientras que *Dioscorea bulbifera* en forma cocida y en la preparación de

sopas. En Africa se prefiere al ñame, en lugar de otras raíces, en la preparación del "fufu" (masa elástica preparada con ñame cocido, machacado y amasado), un alimento tradicional en Costa de Marfil, Ghana, Togo, Dahomey y Nigeria. Los ñames también se emplean en la preparación de harina, confección de escamas para purés, hojuelas y barras para papas fritas (MONTALDO, 1991). En la región San Martín - Perú, *Dioscorea bulbifera* se consume sancochado y frito (JUAREZ, 1995).

2.1.6.2. Alimentación animal

Los ñames usados en la alimentación de cerdos muestran 68.89% de digestibilidad aparente, 66.47% de NDT, 4.1 Mcal/Kg. de energía bruta, 2.4 Mcal/Kg. de energía metabolizable (MONTALDO, 1991).

2.1.6.3. Medicina y farmacología

Muchas especies de ñames silvestres contienen sustancias denominadas sapogeninas, cuya estructura química tiene la misma constitución que los corticosteroides (cortisona, hormonas sexuales, anticonceptivos). De muchas especies de *Dioscorea* se han aislado tres clases diferentes de sapogeninas: la diosgenina, la botogenina y la criptogenina; todas estas poseen estructuras muy semejantes a las de muchos compuestos hormonales de los animales, pero la más utilizada para la síntesis parcial de dichos productos es la diosgenina (MONTALDO, 1991).

2.2. DEL PRODUCTO (ALMIDON)

2.2.1. Generalidades

El almidón es un polímero carbohidratado compuesto de unidades de anhidroglucosa, se encuentra ampliamente distribuido en los más diversos órganos de las plantas como carbohidrato de reserva. Es también, como componente de gran cantidad de alimentos, la fuente más importante de carbohidratos en la alimentación humana. Además los almidones y sus derivados tienen gran significación en diferentes ramas de la industria, tales como la alimentaria, textil y del papel (SWINKELS, 1997; BELITZ 1988).

La palabra "Almidón", se deriva del Anglo - Sajón "Starch" y tiene el significado de fuerza, tiesura o consistencia (SWINKELS, 1997). Es bueno tener en cuenta que el término "almidón" se utiliza con dos significados diferentes. Ciertos tipos de moléculas son llamados almidón. En las células de las plantas, éstas moléculas de almidón se organizan en paquetes o gránulos microscópicos. Estos gránulos o granos se llaman almidones también. Cuando una receta especifica una cantidad de almidón, se refiere al almidón en forma granular (CHARLEY, 1991). En la denominación del producto, generalmente se conoce como almidón al producto amiláceo que se extrae de los cereales y como fécula al producto amiláceo que se extrae de los tubérculos, raíces y rizomas de los vegetales; (ITINTEC, 1974).

Se depositan gránulos de almidón en las semillas, tubérculos, raíces y médulas del tallo de las plantas, como un suministro de alimentos de reserva para los periodos de inactividad, germinación y crecimiento. Las fuentes comerciales de almidón son las semillas de granos de los cereales (maíz, trigo, sorgo, arroz), tubérculos (patata), raíces (tapioca, camote dulce) y la médula de la palma del sago (SWINKELS, 1997). También se encuentran en cantidades elevadas en frutas como: los plátanos, las manzanas y tomates verdes; así como en varias legumbres (guisantes, frijoles, las lentejas) donde las transformaciones reversibles entre el almidón y glucosa que intervienen en la maduración y después de la cosecha tienen una influencia notable sobre la calidad (CHEFTEL, 1992).

La función nutricional de los almidones es muy importante porque constituye, después de la hidrólisis digestiva en glucosa, la principal fuente de calorías de la alimentación humana. Así mismo los almidones tienen un papel importante en la tecnología alimenticia, debido a sus propiedades físico-químicas y funcionales. Se utilizan como agentes espesantes y también para aumentar la viscosidad de las salsas y potajes, agentes estabilizantes de geles o emulsiones, así como elementos ligantes y agentes de relleno, por ejemplo en las salchichas, donde favorecen la retención de agua. El efecto de los almidones sobre la reología, consistencia y textura de numerosos alimentos, se debe principalmente a sus propiedades hidrocoloidales (CHEFTEL, 1992).

Los almidones comerciales pueden ser divididos en tres grupos. El primer grupo comprende los almidones del tubérculo (patata), raíz (tapioca,

camote dulce) y médula (sago). El segundo grupo comprende el almidón del cereal común (maíz, sorgo, trigo, arroz). Estos dos grupos son totalmente diferentes el uno al otro con respecto a la composición química y las propiedades físicas. El tercer grupo comprende los almidones cerosos (maíz ceroso, sorgo ceroso, arroz ceroso). Estos almidones se obtienen de los cereales, pero las propiedades físicas de los almidones cerosos son similares a aquéllos almidones de la tapioca (SWINKELS, 1997).

2.2.2. Almidón de Papa Aérea y Propiedades

Los ñames, incluido *Dioscorea bulbifera* L., contienen 70.4 - 73.4% de almidón en (base seca), excepto *D. Cayenensis*, *D. liebrechtsiana* y *D. rotundata* que alcanzan niveles de 80% (AGBOR, 1995).

De acuerdo con MONTALDO (1991), el tamaño de los gránulos de almidón de las especies de ñames tropicales varía de 1 - 65 μm , midiendo de 5 - 45 μm los de *D. bulbifera*. Según KIBUUKA (1983), el almidón de *D. bulbifera* es de forma triangular y hexagonal, su tamaño varía de 15 - 70 μm . Sobre esta especie, GIACOMETTO (1987) reporta un tamaño promedio de 34.94 μm , existiendo gránulos menores de 17 y mayores de 70 μm ; los gránulos de almidón de yuca y de maíz midieron, en promedio, 13.76 y 13.22 μm , respectivamente.

El contenido de amilosa de los almidones de ñames, basado en la afinidad al yodo, alcanza 22 - 33% (SUSUKI, 1986; KIM, 1991); la amilosa pura tiene una afinidad al yodo de 20%, (LOAYZA, 1981). KIBUUKA

(1983), reporta para *D. bulbifera* 24.53% de amilosa; mientras que GIACOMETTO (1987) determinó 22.57%, semejante a 21.94% para el almidón de maíz y superior a 17.65% para el almidón de yuca.

La temperatura de gelatinización de los almidones de ñames tropicales tiene un rango de 69 - 80.5°C, siendo de 72 - 80 °C para *D. bulbifera* (MONTALDO, 1991). En este rango los gránulos pierden birrefringencia y se hinchan a lo máximo (BADUI, 1984).

Las pastas de almidón de *D. bulbifera* no presentan pico de viscosidad, lo que indica la lenta gelatinización e hinchamiento incompleto de los gránulos; alcanzan la viscosidad máxima después de 95°C, reflejando la estabilidad del gránulo hinchado a la desintegración mecánica; aumentan su viscosidad al ser enfriadas a 50°C, demostrando así la tendencia retrogradativa del almidón. El gel muestra poca transparencia, tanto en caliente como en frío, a semejanza del gel de almidón de maíz y en contraste con el gel de almidón de yuca. Los geles de almidón de *D. bulbifera* y de maíz presentan baja elasticidad, mientras que el de almidón de yuca es una pasta elástica; la baja elasticidad indica que los gránulos de almidón no se expanden lo suficiente (GIACOMETTO, 1987).

2.2.3. Composición Química

Según SWINKELS (1997), los gránulos de almidón contienen normalmente de 10 a 20% de humedad y cantidades pequeñas de las proteínas,

lípidos y rastros de materiales inorgánicos. El cuadro presenta el promedio de la composición química de varios almidones comerciales.

CUADRO 04: COMPOSICION QUIMICA PROMEDIO DE GRANULOS DE ALMIDON .

| Almidón | Humedad al 65% de HR a 20° C | % Lípidos en sustancia seca | % Proteínas en sustancia seca N x 6.25 | % Fósforo en sustancia seca | Cantidad de sabor, aroma, sustancias fragantes (relativas). |
|------------|------------------------------|-----------------------------|--|-----------------------------|---|
| Papa | 19 | 0.1 | 0.1 | 0.08 | Bajo |
| Maíz | 13 | 0.8 | 0.35 | 0.02 | Alto, elevado |
| Trigo | 13 | 0.9 | 0.4 | 0.06 | Alto, elevado |
| Yuca | 13 | 0.1 | 0.1 | 0.01 | Muy bajo |
| Maíz céreo | 13 | 0.2 | 0.25 | 0.01 | Mediano |

FUENTE: SWINKELS, 1997.

2.2.3.1. Humedad

El contenido de humedad de los productos de almidón depende de la humedad relativa (HR) de la atmósfera en la que ellos se han guardado. Si ésta humedad disminuye, los almidones perderán jugosidad; si la HR aumenta, ellos absorberán humedad. El volumen de humedad de equilibrio del almidón también es dependiente del tipo de producto de almidón. Bajo las condiciones atmosféricas normales, los almidones vírgenes más comerciales contienen 10 a 20% de jugosidad. El contenido de la humedad de equilibrio de todo los almidones es bajo en una humedad relativa baja de la atmósfera. A una HR de cero, el volumen de jugosidad de los almidones se acerca a cero. En una HR del 20%, el volumen de humedad de todo los almidones está aproximadamente entre el 5-6%, (SWINKELS, 1997).

2.2.3.2. Lípidos (sustancias grasas)

Los almidones del tubérculo (patata) y de la raíz (tapioca) contienen sólo un porcentaje muy pequeño de lípidos (aproximadamente 0.1%); comparado con los almidones de cereales comunes (maíz, trigo, arroz, sorgo), que contienen entre 0.8 a 1.0% de lípidos. Las sustancias grasas en los almidones del cereal son ácidos grasos predominantemente libres (en maíz y almidón de maíz) o fosfolípidos (en almidón de trigo). Los ácidos grasos libres consisten principalmente en palmítico, linoleico y ácido oleico, (SWINKELS, 1997). Los lípidos asociados al almidón son, generalmente, lípidos polares, que necesitan disolventes polares tales como metanol - agua, para su extracción, (HOSENEY, 1991).

La presencia de lípidos en los almidones de los cereales comunes tiene un efecto profundo en las propiedades físicas de estos almidones. Los lípidos terminan como una inclusión amilosa-lípido complejo en los gránulos. El fragmento lineal de las moléculas de almidón (amilosa) forma enlaces helicoidales con sustancias grasas polares, como los ácidos grasos más altos, los complejos de amilosa - lípido son insolubles, pero se disocian cuando son calentados en agua sobre una temperatura dada. La temperatura de la disociación es indicativa de la fuerza de enlace y depende del tipo de agente enlazante. Los compuestos de amilosa-lípido tienden a reprimir la hinchazón y solubilización de gránulos de almidón de cereal. Temperaturas elevadas (sobre 125°C) se exigen para romper la organizada estructura virgen amilosa.- lípido en los gránulos de almidón de cereales y para solubilizar la fracción

del amilosa. La presencia de sustancias grasas puede crear problemas en el uso de maíz y productos de almidón de trigo, debido a la tendencia a ponerse rancio en almacenamiento, (SWINKELS, 1997).

2.2.3.3. Proteínas

La cantidad de proteínas como se muestra en el cuadro 04 (calculada como $N \times 6.25$) incluye proteínas reales, pero también los péptidos, amidas, aminoácidos, ácidos nucleicos y enzimas que pueden estar presentes en los gránulos de almidón. Los almidones del tubérculo (patata) y la raíz (tapioca) contienen sólo una cantidad pequeña de proteínas (aproximadamente 0.1%), comparadas con los almidones del cereal (maíz, trigo, maíz ceroso), que contienen entre 0.2 - 0.4% de proteínas. Debido a la proteína residual, los almidones del cereal pueden tener un olor y sabor harinoso y también una tendencia a espumar. Los gránulos pequeños del almidón de trigo contienen mucho más proteína (1.6% que los gránulos grandes 0.1%), (SWINKELS, 1997).

2.2.3.4. Fósforo

En los almidones de los cereales el fósforo se encuentra principalmente como fosfolípidos, (HOSENEY, 1991). La raíz de la tapioca contiene una cantidad muy baja de los componentes de fósforos. El almidón de la patata es el único almidón comercial que contiene una cantidad apreciable de grupos de éster de fosfato químicamente limitados. Los grupos éster de fosfato se ligan a la posición C-6 de glucosa en las unidades de las

moléculas de la amilopectina en almidón de la patata. En la Figura 01, se muestra los grupos éster de fosfato en almidón de la patata y fosfato monoalmidonado. La cantidad de grupos éster de fosfato en el almidón de patata es de 1 fosfato por 200 a 400 unidades de glucosa. Estos corresponden a un grado de sustitución (DS) de aproximadamente 0.003 a 0.005. la sustitución del fosfato confiere propiedades de un polielectrolito en amilopectina de almidón de papa cuando son dispersados en las soluciones acuosas. La repulsión mutua de las fuerzas de los grupos cargados obliga a la molécula a extenderse. Los grupos de fosfato pueden ser considerados como grupos intercambiadores de iones, (SWINKELS, 1997).

2.2.3.5. Sabor y sustancias de olor

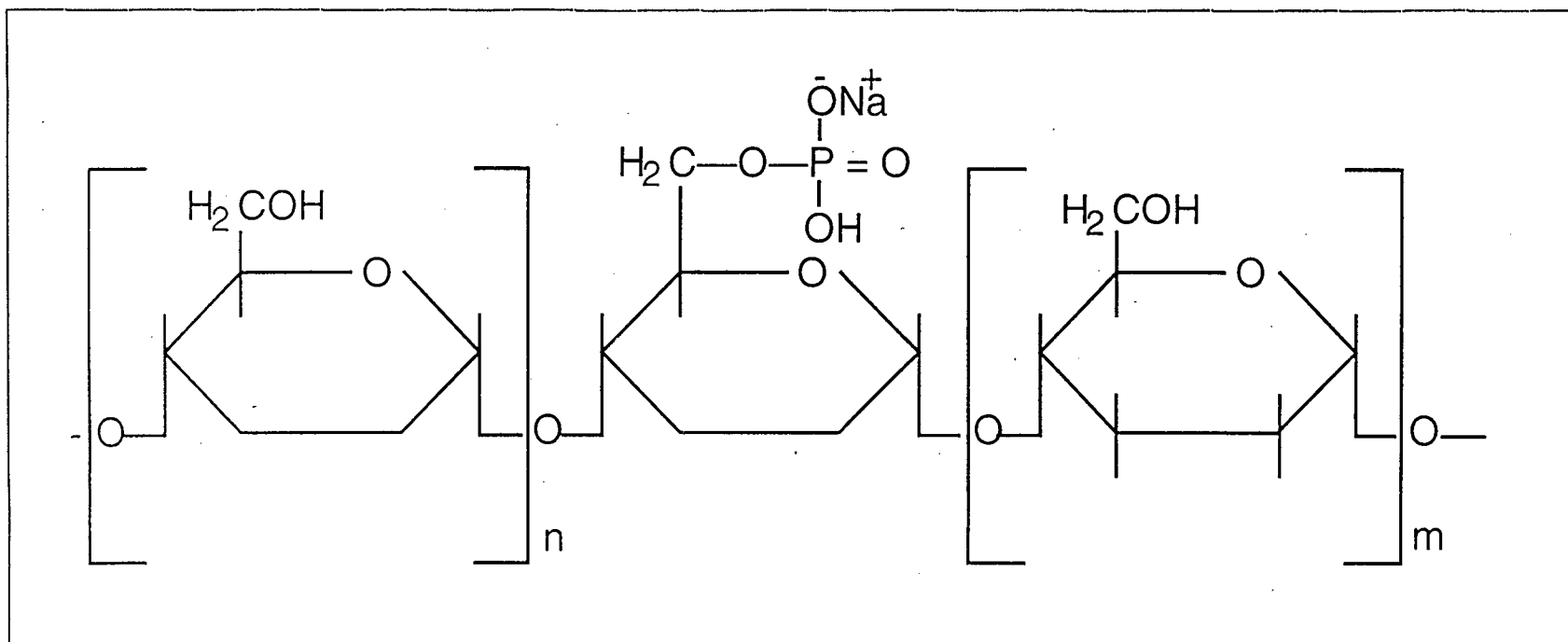
Los almidones comunes de cereales pregelatinizados (maíz, trigo) tienen un sabor a cereal relativamente crudo. Estos almidones imparten sabores característicos a cereal a las comidas en las que ellos son incorporados. Los almidones de papa y tapioca contienen sólo una cantidad baja de sustancias de sabor y esto puede ser debido a su bajo contenido de lípidos y proteínas, (SWINKELS, 1997).

CUADRO 05: COMPOSICION DE DIVERSOS PRODUCTOS VEGETALES RICOS EN ALMIDÓN (gr/100g de materia seca).

| PRODUCTO | ALMIDON | PROTEINA | LIPIDOS | FIBRA | CENIZA | AGUA |
|----------|---------|----------|---------|-------|--------|------|
| PAPA | 84 | 8 | 0.5 | 3 | 4 | 78 |
| YUCA | 95 | 1 | 0.5 | 2 | 1.5 | 12 |
| TRIGO | 75 | 12 | ≈ 3 | ≈ 3 | ≈ 2 | ≈ 12 |
| ARROZ | 75 | 8 | ≈ 3 | ≈ 3 | ≈ 2 | ≈ 12 |
| SORGO | 75 | 12 | ≈ 3 | ≈ 3 | ≈ 2 | ≈ 12 |
| MAIZ | 75 | 12 | ≈ 3 | ≈ 3 | ≈ 2 | ≈ 12 |
| GUISANTE | 60-66 | 25-30 | 1.5 | 6.8 | 1.5-3 | 75 |
| PLATANO | 90 | 5 | 1.5 | 2 | 3.5 | 74 |

FUENTE: CHEFTEL, 1992.

FIGURA 01: GRUPO ESTER DE FOSFATO EN ALMIDON DE PAPA Y ALMIDON MONO FOSFATO



FUENTE: SWINKELS, 1997.



2.2.4. Estructura Molecular

El almidón es un hidrato de carbono, compuesto de Carbono, Hidrógeno y los átomos de Oxígeno en la proporción 6:10:5 ($C_6H_{10}O_5$)_n, puede considerarse que el almidón es una condensación del polímero de la glucosa y consiste en unidades de anhidroglucosa. Las unidades de glucosa se unen entre sí a través del C-1 con los oxígenos, conocidos como enlace glucósido. La unión del glucósido es estable bajo condiciones alcalinas e hidrolizable bajo condiciones ácidas. La unidad de glucosa al final de la cadena del grupo polimérico tiene un aldehído latente y es conocido como el grupo del extremo reductor (SWINKELS, 1997).

El almidón es una mezcla de dos glucanos, amilosa y amilopectina; la mayor parte de ellos contienen un 20 a 39% de amilosa. Se conoce sin embargo variedades de maíz (amilo - maíz) cuya proporción de amilosa llega a ser entre 50 y 80%. Los almidones normales contienen un 70 a 80% de amilopectina, aunque existen algunas variedades de maíz y milo conocidos como céreos, que llegan a contener hasta prácticamente el 100% (BELITZ, 1988).

2.2.4.1. Amilosa

La amilosa es un polímero lineal de residuos de D-glucopiranosilo, unidos por enlaces α 1,4 contienen hasta 6000 unidades de glucosa. El tamaño molecular de la amilosa es muy variable; el grado de

polimerización en los almidones de cereales se encuentra entre 1 000 y 2 000, en el de patata puede alcanzar 4 500 (BELITZ, 1988). Su masa molecular puede alcanzar de 20 000 (maíz) a 300 000 Daltón (patatas). En los gránulos de almidón, este polímero está presente bajo forma cristalizada, debido principalmente al gran número de enlaces hidrógeno existentes entre los grupos hidroxilo. Los enlaces hidrógeno de la amilosa también son responsables de la adsorción de agua y de la formación de geles (originan redes tridimensionales), en el curso de la retrogradación, después de la gelatinización (CHEFTEL, 1992).

La amilosa no es fácilmente dispersable en agua fría, debido a su naturaleza cristalina, la amilosa solo se hincha a una temperatura elevada. Con el aumento de la temperatura sin embargo, el hinchamiento de los gránulos lleva a la formación de un engrudo de almidón constituido por un sistema de gránulos de almidón fuertemente hinchados en una solución real de almidón. Por enfriamiento rápido con agitación del engrudo de almidón se produce en general un incremento de la viscosidad, mientras que en ausencia de agitación lo que se produce es la formación de un gel de almidón. Los geles de amilosa tienen tendencia a sufrir retrogradación (BELITZ, 1988).

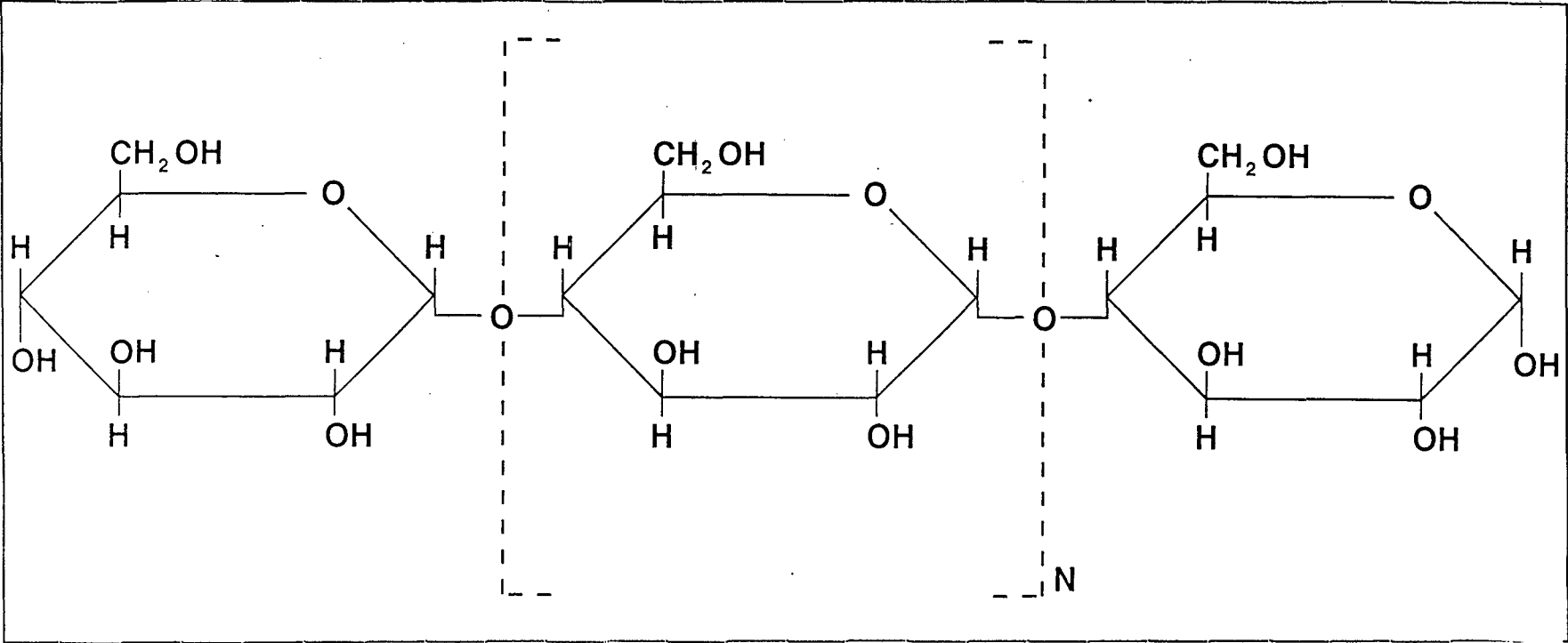
La naturaleza lineal y de gran longitud de la amilosa, es también, responsable de la tendencia a asociarse consigo misma y precipitarse de la solución. La amilosa cristalizará fácilmente de una solución o se retrogradará. Retrogradación, es el término utilizado para denotar cristalización en geles de

almidón. A causa de su fuerte tendencia asociarse, es difícil trabajar con la amilosa, (HOSENEY, 1991).

La naturaleza lineal y de gran longitud dan a la amilosa capacidad para formar complejos con el yodo, alcoholes o ácidos orgánicos. Estos complejos se llaman "Clatratos" o complejos de inclusión helicoidal. El conocido color azul producido por el yodo con el almidón, se atribuye a iones poliyodados en el núcleo central de la hélice de la amilosa, (HOSENEY, 1991).

Las moléculas de almidón y especialmente amilosa existen en el agua como cadena al azar. En presencia de ciertas sustancias grasas o moléculas de yodo, el almidón asume la forma de una hélice, con 6 o 7 residuos de glucosa abarcando cada espiral. El espacio dentro de cada espiral acomoda una molécula de yodo y este complejo hace posible la prueba de yodo para localizar el almidón. El color del complejo depende de la longitud de la hélice y por ello, del número de moléculas de yodo involucradas. Si la hélice es larga, el complejo almidón - yodo es azul; si es corta, el complejo es rojo (CHARLEY, 1991). Estos complejos de amilosa forman un rollo en la hélice alrededor del agente que forma los compuestos. El compuesto de amilosa con yodo da un color azul característico que se usa para establecer la presencia de contenido de amilosa en el almidón (SWINKELS, 1997).

FIGURA 02: ESTRUCTURA LINEAL EN CADENA DE LAS MOLECULAS DE AMILOSA.



FUENTE: SWINKELS, 1997.

2.2.4.2. Amilopectina

La amilopectina es un polímero ramificado de D - glucosa, consiste de cadenas lineales cortas con un grado de polimerización (DP) que va de 10 a 60 unidades de glucosa (SWINKELS, 1997). La mayoría de los enlaces entre las unidades D - glucosa de la amilopectina son del tipo α (1-4), como en la amilosa. Además un 4 a 5% de las unidades de glucosa son enlaces α (1-6) y dan una estructura ramificada creciente. La isomaltosa es el polisacárido que tiene el enlace de ramificación; (FENNEMA, 1982). La ramificación ocurre a intervalos de entre 15 a 30 residuos de glucosa. El enlace se establece entre el carbono 1 de la rama y el carbono 6 del residuo de glucosa al que se une la ramificación, dicha ramificación les dá un efecto de arbusto a las moléculas de amilopectina y tienden a hacerlas menos dispersable en el agua (CHARLEY, 1991).

La amilopectina es una de las moléculas más grandes en la naturaleza con un grado de polimerización promedio de aproximadamente 2 millones (con un promedio de peso molecular de aproximadamente 400 millones de Dalton), el peso molecular de la amilopectina es aproximadamente 1000 veces tan alto del peso molecular de la amilosa (SWINKELS, 1997).

Durante la cocción, la amilopectina absorbe mucha agua y es, en gran parte, responsable de la hinchazón de los gránulos de almidón. Así los gránulos ricos en amilopectina son más fáciles de disolver en el agua, a 95°C, que los que contienen mucha amilosa (CHEFTEL, 1992). La amilopectina,

por calentamiento en agua, proporciona soluciones claras y de alta viscosidad que son además filamentosas y cohesivas. Al contrario que la amilosa, no tiene casi tendencia a la retrogradación, debido al incremento estérico, las moléculas de amilopectina no tienen tendencia a la recristalización y por lo tanto poseen un elevado poder de retención de agua, contraria a las de amilosa. La amilopectina no presenta envejecimiento ni formación de gel, aunque la concentración sea muy alta. Sin embargo, como se sabe, el añejamiento del pan se atribuye a la recristalización de la amilopectina. La viscosidad decrece sin embargo fácilmente en medio ácido en tratamientos en autoclave o por fuerte agitación mecánica (BELITZ, 1988; CHEFTEL, 1992).

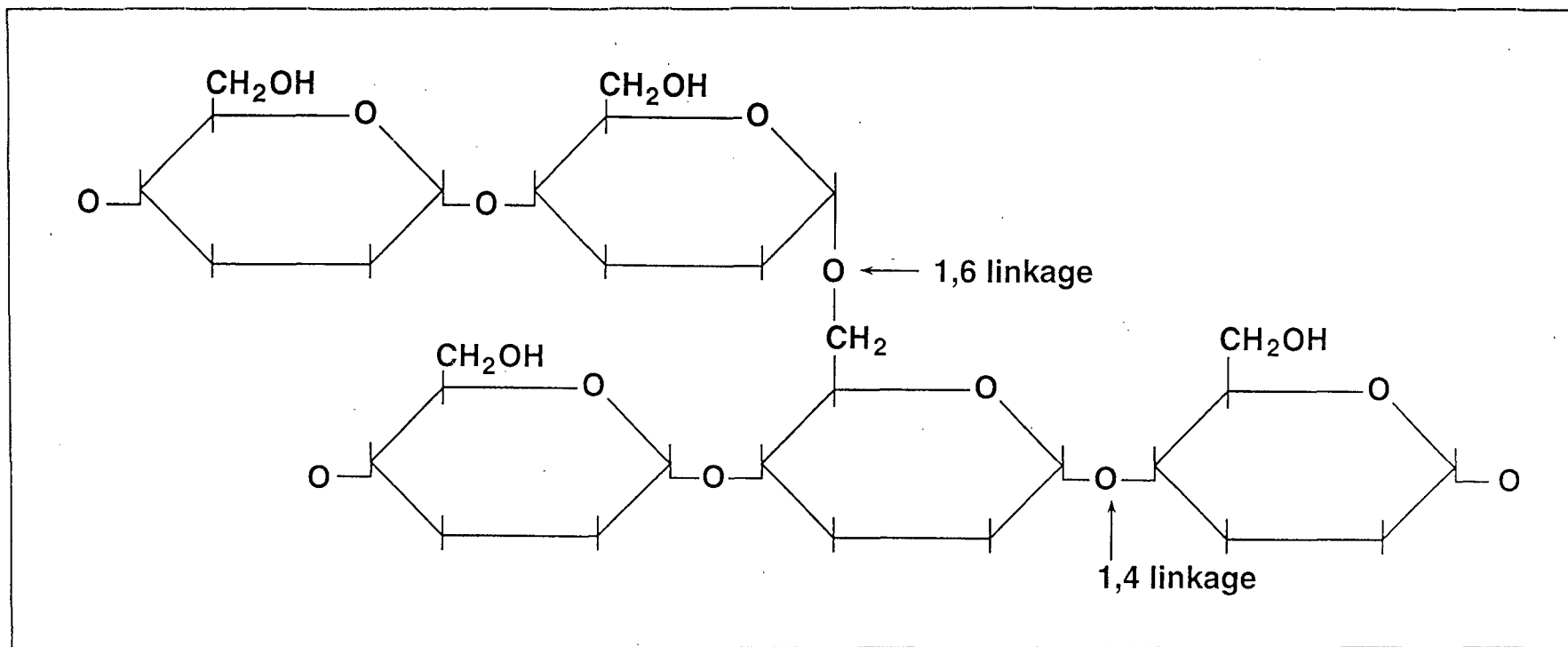
CUADRO 06: CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA EN ALMIDONES NATURALES.

| ALMIDONES | AMILOSA (%) | | | | AMILOPECTINA (%) | | | |
|------------|-------------|---------|---------|-----|------------------|---------|----------|-----|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (1) | (2) | (3) | (4) |
| PAPA | 23 | 23 | 22 | 21 | 77 | 77 | 78 | 79 |
| YUCA | 20 | - | 18 | 17 | 80 | - | 82 | 83 |
| TRIGO | 20 | 26 | 24 | 26 | 80 | 74 | 76 | 74 |
| ARROZ | 15 - 35 | 18 | 17 | - | 65 - 85 | 82 | 83 | - |
| SORGO | 25 | - | - | - | 75 | - | - | - |
| MAIZ | 25 | 28 | 27 | 28 | 75 | 72 | 73 | 72 |
| MAIZ CEREO | 0 | 1 | 0 - 1 | 0 | 100 | 99 | 99 - 100 | 100 |
| AMILOMAIZ | 77 | 51 - 65 | 55 - 80 | - | 23 | 35 - 49 | 20 - 45 | - |
| GUISANTES | 40 | 35 | - | - | 60 | 65 | - | - |
| PLATANO | 17 | - | - | - | 83 | - | - | - |

FUENTE: (1) CHEFTEL, 1992; (2) BELITZ, 1988; (3) BADUI, 1981; (4) SWINKELS, 1997.

En el cuadro 07, se observa las propiedades físicas y químicas de los componentes lineales y ramificados del almidón.

FIGURA 03: ESTRUCTURA DE LA AMILOPECTINA, INDICANDO PUNTOS DE RAMIFICACION.



FUENTE: SWINKELS, 1997.

CUADRO 07: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE LOS COMPONENTES LINEALES Y RAMIFICADOS.

| PROPIEDADES | AMILOSA Composición – Lineal | AMILOPECTINA Composición – Ramificada |
|--|---|--|
| Peso Molecular | 10000 – 60000 | 30000 – 1000000 |
| Proporción en Almidón | 10- 20 | 80 – 90 |
| Determinación del grupo final Aldehído | Un grupo final por molécula | Un grupo final por 20 a 30 unidades glucosa |
| Película derivado acetilado | Elástico sólido | Quebradizo |
| Acción de la Amilasa | Hidrolizada por enzima al 100 % | Hidrolizado por enzima al 60 % |
| Comportamiento en el agua | Fase sólida y líquida separada | Formas Pastosas |
| Reacción con el Iodo. | Color azul | Color rojo violeta |

FUENTE: KERR, 1950 citado por AGUIRRE, 1992.

2.2.5. Propiedades Físicas y Químicas de los Almidones

Dentro de las propiedades físicas y químicas las más importantes son: el aspecto microscópico y el tamaño del gránulo, la solubilidad y poder de hinchamiento, afinidad al yodo, temperatura de gelatinización, viscosidad y actividad enzimática.

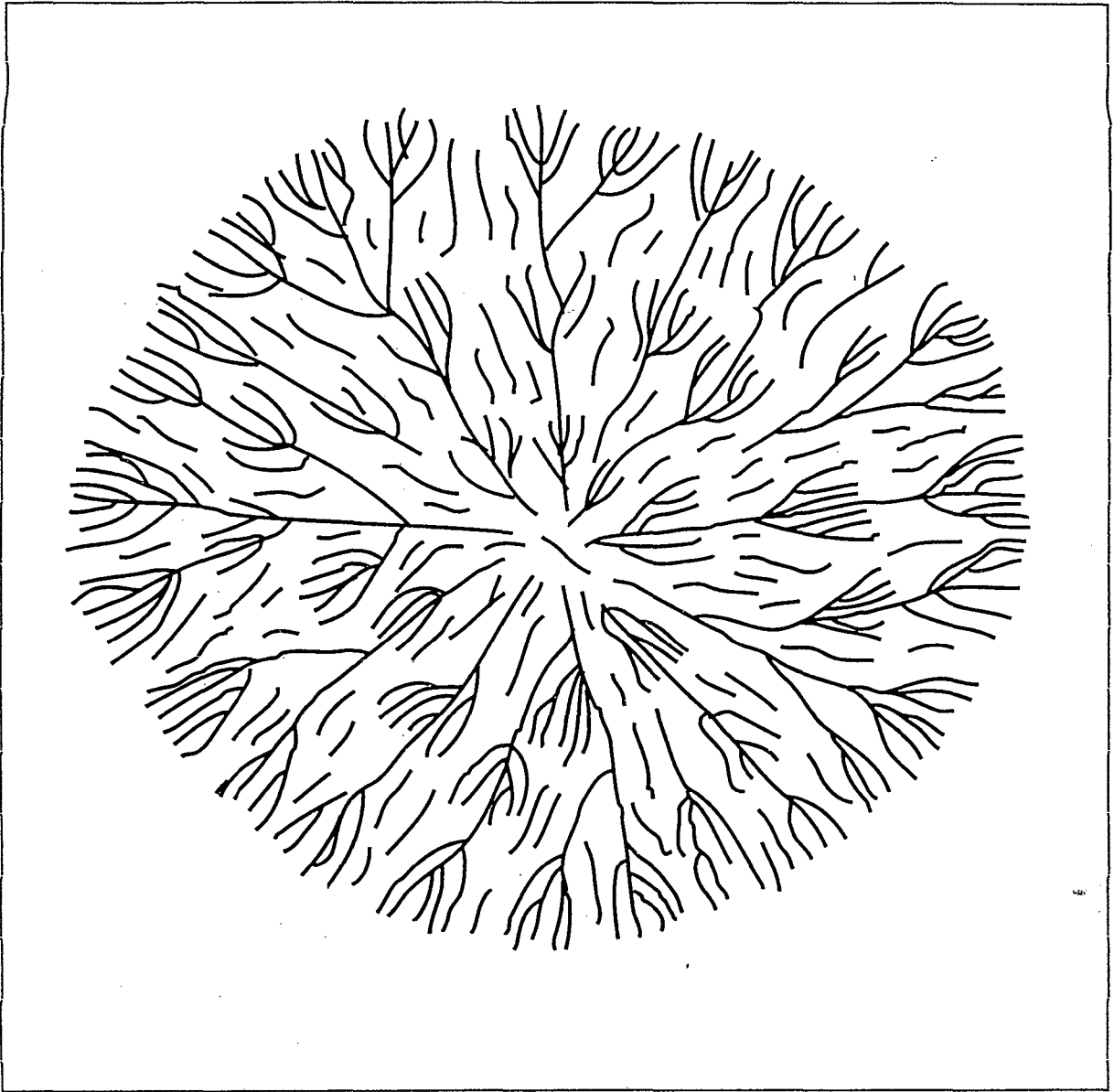
2.2.5.1. Aspecto microscópico y tamaño del gránulo

El desarrollo de los gránulos de almidón comienza con la acumulación de material pobremente organizado de una composición química desconocida. En un cierto momento hay la deposición de una cantidad

diminuta de polisacárido insoluble que actúa como un núcleo para la deposición de almidón posteriormente. Este núcleo es el centro botánico del gránulo (hillum = núcleo del gránulo de una fécula), alrededor del cual crece el gránulo. El crecimiento inicial del gránulo es casi esférico. Cuando los gránulos se agrandan perpendicularmente al polímero de almidón creciente, ellos se solidifican simultáneamente (SWINKELS, 1997). Estos gránulos son esferocristales visibles al microscopio electrónico que dan con los rayos X redes de difracción; contienen muy poca agua y su tamaño varía entre 5 μm (arroz) a 100 μm (5 a 100 μm) en el caso de la papa y 5 a 25 μm en el caso del maíz; (CHEFTEL, 1992). El almidón de la raíz de la planta de yuca y el almidón de las células endospermicas del maíz, miden de 12 a 25 micrones. Las primeras son redondas y las últimas redondas poligonales. Los gránulos de almidón de trigo son de dos tipos. Los pequeños, esféricos de 10 micrones de diámetro, y los grandes, de forma lenticelar o discoide, de aproximadamente 35 micrones de diámetro. Los gránulos del almidón de la papa son grandes, y pueden identificarse por su forma de concha de ostra y por la aparición de diferentes anillos o estriaciones concéntricas, (CHARLEY, 1991).

Las características particulares son el tamaño, forma y uniformidad de los gránulos; la localización (céntrica o excéntrica) del hilo (punto sencillo o intersección de dos líneas cortas); el aspecto de los gránulos a la luz polarizada (birrefringencia); FENNEMA (1982).

FIGURA 04: MODELO ESQUEMATICO DE LA ESTRUCTURA DE LOS GRANULOS DE ALMIDON.



FUENTE: SWINKELS, 1997.

CUADRO 08: PROPIEDADES DE LOS GRANULOS DE ALMIDON

| Almidón | Tipo | Tamaño del Diámetro Rango (µm) | Tamaño del Diámetro en Número Promedio (µm) | Tamaño del Diámetro en Peso Promedio (µm) | Forma |
|------------|-----------|--------------------------------|---|---|---------------------|
| Papa | Tubérculo | 5 – 100 | 28 | 40 | Oval, Esférico |
| Maíz | Cereal | 2 – 30 | 10 | 15 | Redondo, Poligonal |
| Trigo | Cereal | 1 – 45 | 8 | 25 | Redondo, Lenticular |
| Yuca | Raíz | 4 – 35 | 15 | 25 | Oval, Truncado |
| Maíz Céreo | Cereal | 3 – 26 | 10 | 15 | Redondo, Poligonal |

FUENTE: SWINKELS, 1997.

2.2.5.2. Solubilidad y poder de hinchamiento

Los gránulos de almidón están formados en un medio acuoso en el interior de las células vivas de las plantas. El almidón comercial está formado por granos de almidón en los que se ha retirado la mayor parte de la humedad. Al secarse el grano, las moléculas de almidón se agrupan mas estrechamente y el grano se encoge. Cuando los granos de almidón no cocidos ni dañados se colocan en agua fría, absorben agua y se hinchan (CHARLEY, 1991).

El almidón en el estado natural es insoluble en agua fría, pero parece absorber cerca de 25 a 30% y no se hincha apreciablemente. Con la elevación de la temperatura las ligaduras de hidrógeno que tienen estructura micelar unido junto a las moléculas solventes en agua tienden a disociarse. Las pequeñas moléculas se disocian a un nivel de energía mas alto y pueden saturar la estructura del almidón. Durante el hinchamiento, las moléculas

libres de amilosa y algunas moléculas libres de amilopectina de bajo D.P. (Poder disolvente) abandonan el gránulo por difusión.

El rompimiento de la estructura del gránulo del almidón cuando se somete al calor en solución acuosa, tiene lugar en tres fases diferentes:

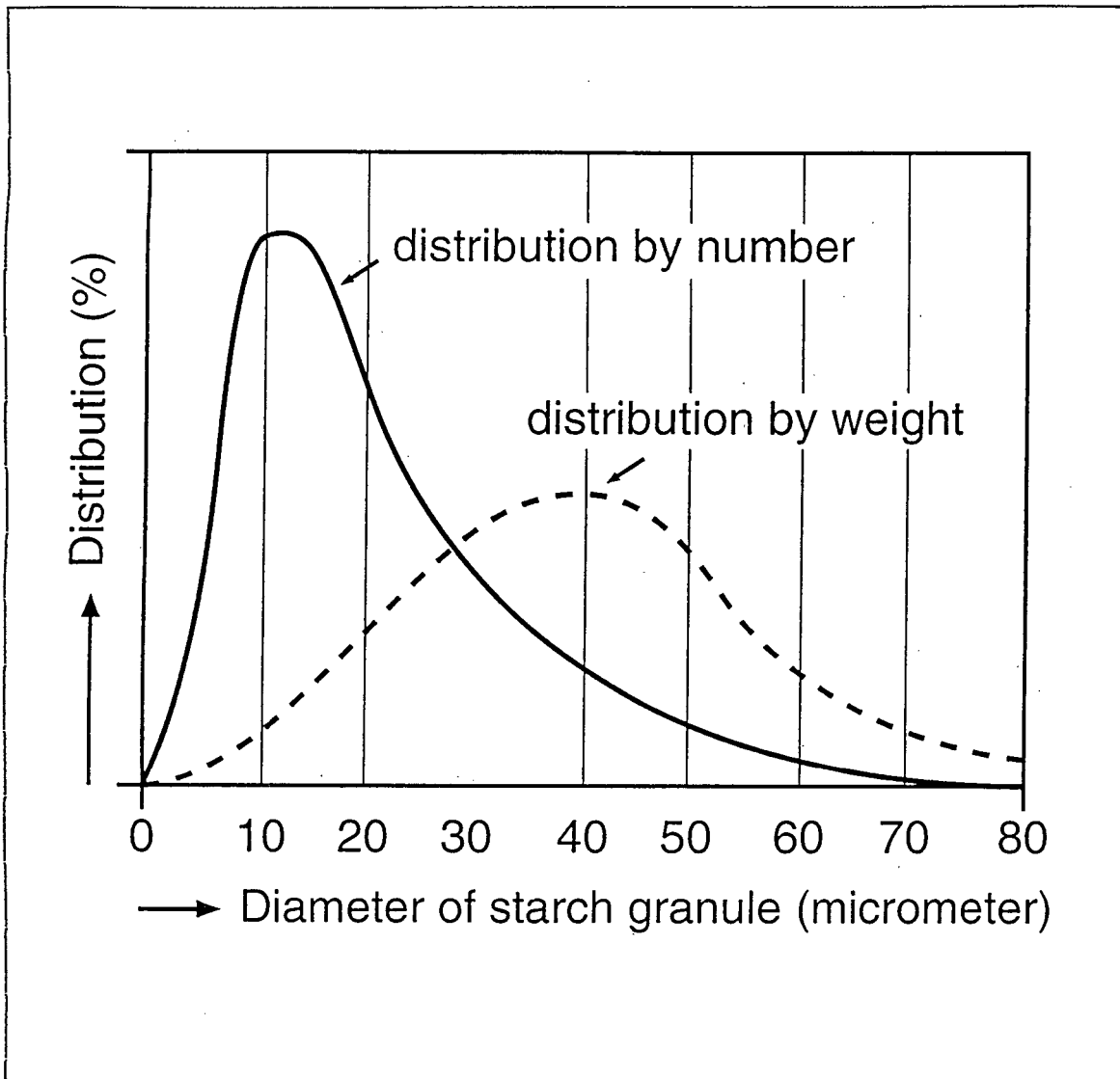
En la primera fase absorbe agua lenta y reversiblemente; se aprecia un hinchamiento limitado y él gránulo retiene su apariencia característica y birrefringencia. Una vez enfriados y secos no se observa cambios.

En la segunda fase del hinchamiento el gránulo se hincha repentinamente, aumenta su volumen muchas veces, absorbe agua en cantidad y pierde su birrefringencia; Aquí se observa un incremento rápido de su viscosidad, y una vez enfriados los gránulos se alteran en su apariencia y muchos de ellos pierden su estructura y birrefringencia.

La tercera fase tiene lugar cuando se aumenta la temperatura, los gránulos se vuelven como bolsas sin forma, la parte más soluble del almidón está lleno de gránulos hinchados, que cuando se enfrían forman un gel rígido; (KERR, 1950 citado por AGUIRRE, 1992).

El almidón de patata y tapioca muestran el punto de solubilización más alto. Los lípidos en los almidones del cereal reducen la solubilización. El almidón de maíz muestra una relativamente lenta, propiedad del aumento de volumen restringido de dos fases. El almidón de la patata sufre una hinchazón rápida y excepcional a temperaturas relativamente bajas. Los almidones de raíces se hinchan a temperaturas más bajas (SWINKELS, 1997).

FIGURA 05: DISTRIBUCION DE LOS GRANULOS DE ALMIDON DE PAPA.



FUENTE: SWINKELS, 1997.

2.2.5.3. Afinidad al Yodo

La amilosa forma compuestos con la inclusión de yodo y de varios compuestos orgánicos como butanol, ácidos grasos, varios surfactantes, fenoles e hidrocarburos. Estos complejos son esencialmente insolubles en agua. Se cree que los compuestos de amilosa forman un rollo en la hélice alrededor del agente que forma los compuestos (SWINKELS, 1997).

Desde el descubrimiento del Iodo se sabe que el almidón es capaz de reaccionar con el Iodo para dar un color azul turquesa.

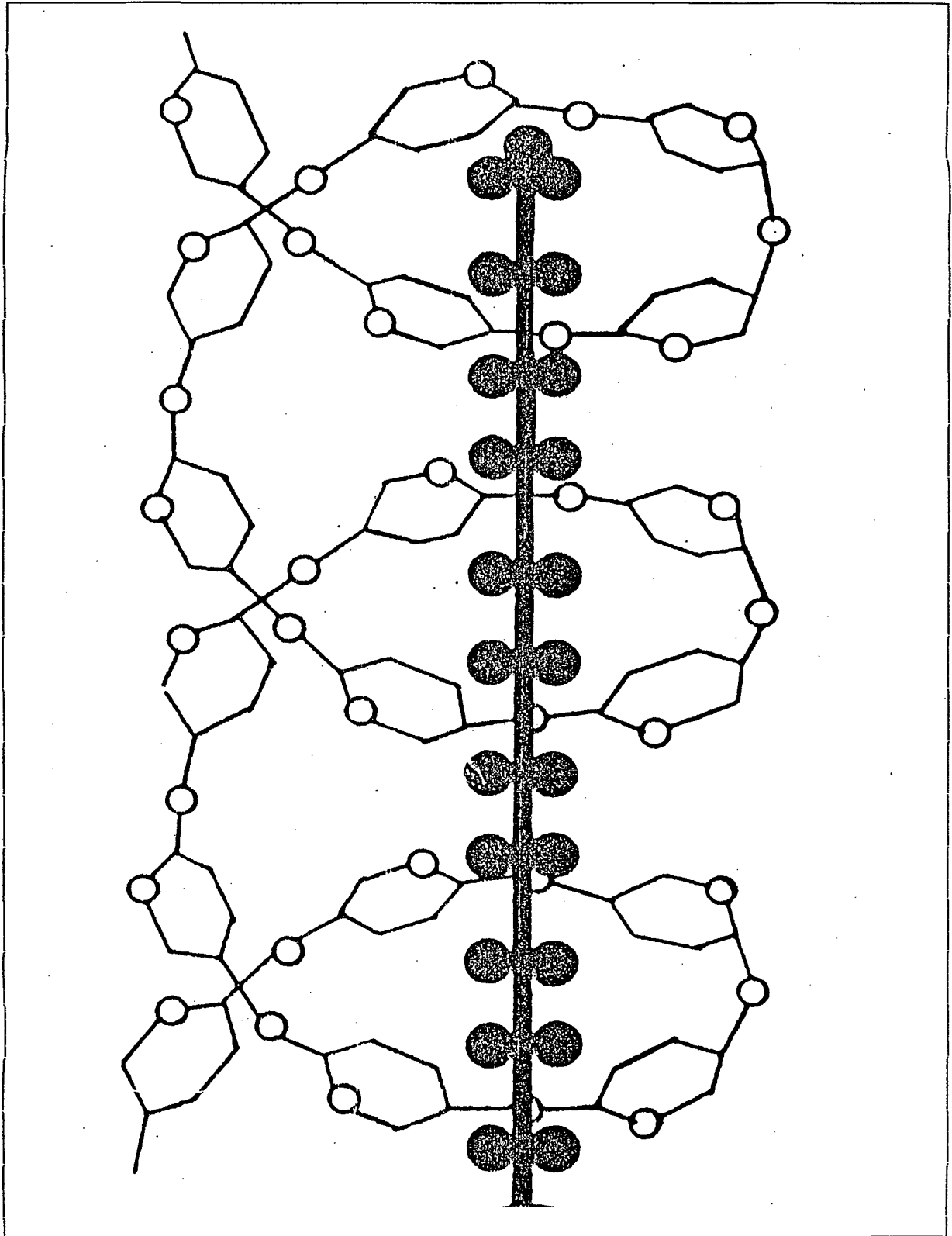
BERK (1980), citado por AGUIRRE (1992), manifiesta que una de las características mejor conocidas de la amilosa es su capacidad de captar Iodo para dar un complejo azul intenso. La amilosa puede retener hasta 20 % de Iodo por peso. El Iodo se absorbe sobre la molécula de amilosa y estabiliza la conformación helicoidal. Las cadenas cortas de amilosa obtenidos por hidrólisis parcial (dextrosas) absorben poco Iodo y dan un complejo rojizo.

CUADRO 09: AFINIDAD DEL IODO A LOS ALMIDONES.

| ALMIDON | AFINIDAD AL IODO % |
|-----------------|--------------------|
| Maíz | 5.08 |
| Trigo | 4.80 |
| Haba | 6.03 |
| Frijol Castilla | 5.52 |
| Plátano Hartón | 4.45 |
| Achira | 6.69 |
| Yuca | 4.73 |
| Pituca | 2.30 |

FUENTE: AGUIRRE, 1992.

FIGURA 06: REPRESENTACION DE UN ACIDO ORGANICO FORMANDO UN CLATRATO CON AMILOSA.



FUENTE: HOSENEY, 1991.

Las fracciones de amilopectina se colorea de azul pero no forma complejos con el Iodo. En consecuencia, la cuantificación del contenido de amilosa en el almidón depende de la titulación electrométrica de una dispersión de almidón con una solución de Iodo, o bien, se determina la absorbancia del complejo de Iodo a una determinada longitud de onda, en donde el complejo de Iodo absorbe a 680 nm; (DESROSIER, 1983).

2.2.5.4. Calentamiento del almidón en Agua.

Cuando se coloca el almidón en agua, ésta penetra libremente por el grano, o en realidad, por la mayoría de las moléculas pequeñas (hasta un peso molecular de unos 1000). El almidón puede retener un 30% de peso seco en forma de humedad. El grano se hincha ligeramente, se considera generalmente que el aumento es de un 5% (HOSENEY, 1991).

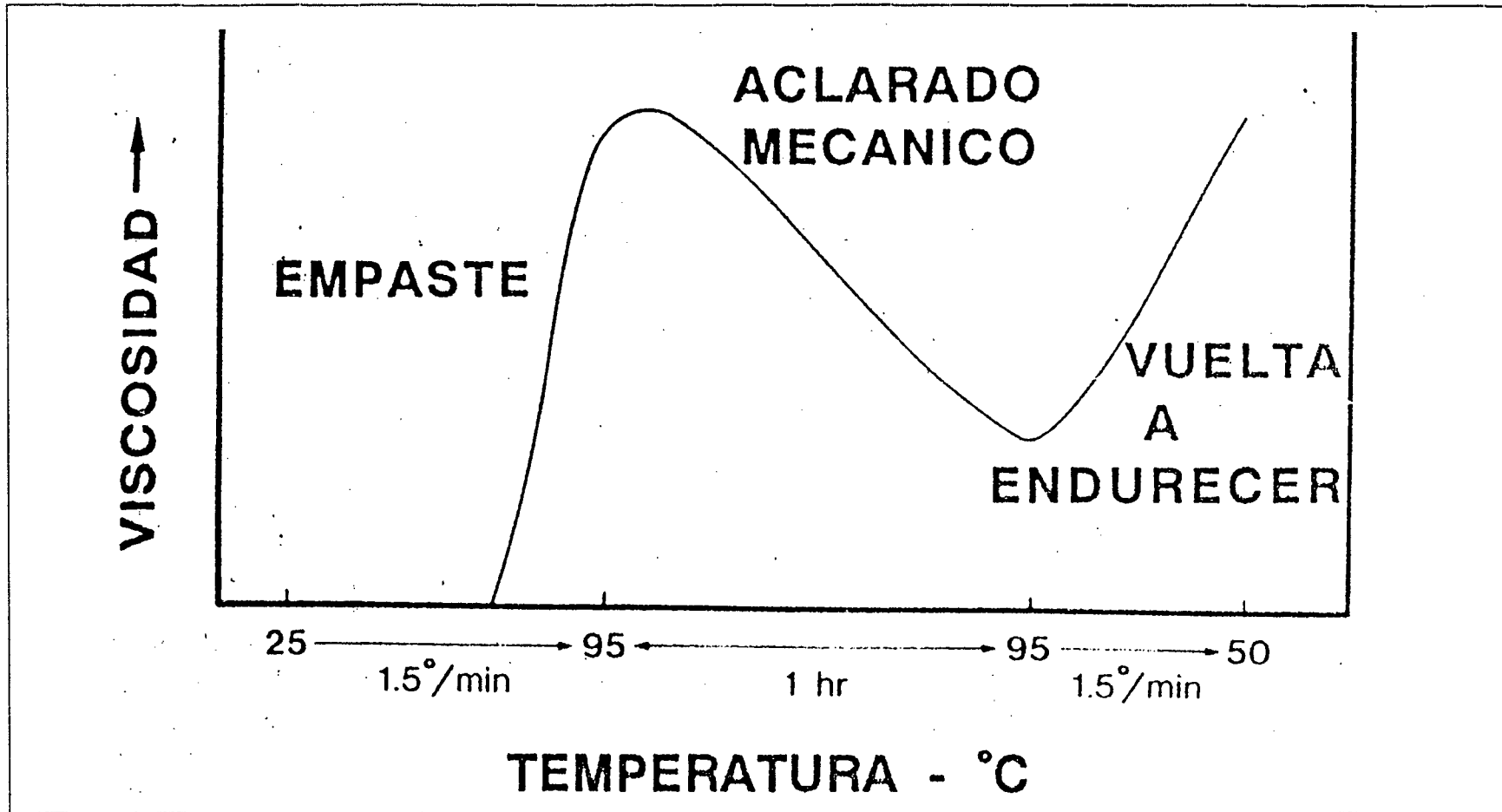
El aumento de la viscosidad que se produce al calentar el almidón en agua, es principalmente, el resultado de la absorción de agua e hinchamiento del almidón. Al continuar el calentamiento, se distorsiona el grano de almidón y pasa a la solución almidón soluble. El almidón soluble y la continuada absorción de agua por lo que queda de los granos de almidón, son los responsables del aumento de viscosidad. Estas alteraciones que se producen después de la gelificación (pérdida de birrefringencia) se llaman "Pasting" (empaste).

La solubilización del almidón es continua. No es completa mientras no se haya solubilizado totalmente la estructura granular. En exceso de agua, esto se producirá a temperatura superior a 120°C. Por lo tanto, en ningún sistema de alimento será posible alcanzar el empaste completo o completa solubilización del almidón (HOSENEY, 1991).

En el amilógrafo, como en todos los sistemas de alimentos, excepto los calentados a presión, la temperatura no puede exceder a 100°C, pues el sistema herviría. Se dice entonces que el almidón está "Cooked" (cocido). Una propiedad del almidón que no se ha explicado convenientemente, es que la solubilización parece estar gobernada, solamente por temperatura y no por una interacción de tiempo y temperatura.

La viscosidad del sistema con almidón, disminuye marcadamente mientras se mantiene el calentamiento a 95°C durante una hora. La disminución de viscosidad es debido a la orientación de las moléculas del almidón soluble en el sentido de la agitación del sistema. Este fenómeno llamado "Shear thinning" (aclarado mecánico), es una propiedad importante de las pastas del almidón. Si se quiere conseguir una salsa muy espesa, no se debe agitar excesivamente o bombear la pasta por una tubería ya que en ambos casos se producirá este fenómeno reduciendo la viscosidad. Tras el periodo de calentamiento de una hora a 95°C, el procedimiento del amilógrafo tiene un enfriamiento controlado (1.5°C/min), desde 95°C a 50°C. Esto da lugar a un rápido crecimiento de la viscosidad. Este incremento se conoce como "Setback" (vuelta al endurecimiento), (HOSENEY, 1991).

FIGURA 07: AMILOGRAMA RETOCADO, DE UN SISTEMA ALMIDON - AGUA MOSTRANDO EMPASTE, ACLARADO MECANICO Y VUELTA AL ENDURECIMIENTO.



FUENTE: HOSENEY, 1991.

2.2.5.5 Temperatura de gelatinización.

Se denomina así aquella temperatura en la cual el gránulo comienza a hincharse rápidamente y pierde birrefringencia, se llama también "margen de gelificación" (FENNEMA, 1982). Cuando los gránulos de almidón se exponen al mismo tiempo al calor y a la humedad, hay una "gelatinización" por encima de 55 - 70°C, los gránulos hinchan, debido a una adsorción de agua por los grupos polares hidroxilo, adsorción que en el caso del almidón de maíz puede alcanzar un 2500%, con relación al peso inicial del almidón. En ese momento la viscosidad de la suspensión de almidón aumenta considerablemente, porque los gránulos hinchados se adhieren los unos a los otros. Si se prolonga el tratamiento hidrotérmico, puede surgir una ruptura de los gránulos, hidrólisis parcial y disolución mas o menos completa de las moléculas constituyentes, lo que origina un descenso de la viscosidad. Es importante señalar que la gelatinización del almidón por cocción lo hace mucho más digestible que por las enzimas amilolíticas (CHEFTEL, 1992).

Cuando los gránulos de almidón son calentados en agua a temperatura progresivamente más altas, se alcanza un punto donde el cruce de la polarización empieza a marchitarse en el hillum, y este fenómeno se extiende rápidamente a la periferia del gránulo. Simultáneamente, el gránulo empieza a inflarse irreversiblemente. El término "gelatinización" se aplica a esta pérdida de polarización y la iniciación coexistente de hinchazón. La hinchazón inicial tiene lugar en las regiones amorfas del gránulo, rompe los débiles enlaces entre las moléculas de almidón y los hidrata.

El proceso de gelatinización de una suspensión de almidón no puede definirse como que tiene lugar en una cierta temperatura, sino durante un cierto rango de temperaturas (SWINKELS, 1997). Este empacamiento, comúnmente referido como gelatinización, es irreversible, la suspensión lechosa se hace menos opaca y mas translúcida y los gránulos hinchados pierden birrefringencia e inician el espesamiento del líquido. (CHARLEY, 1991). Los almidones dependiendo de su origen muestran distintos márgenes de gelificación:

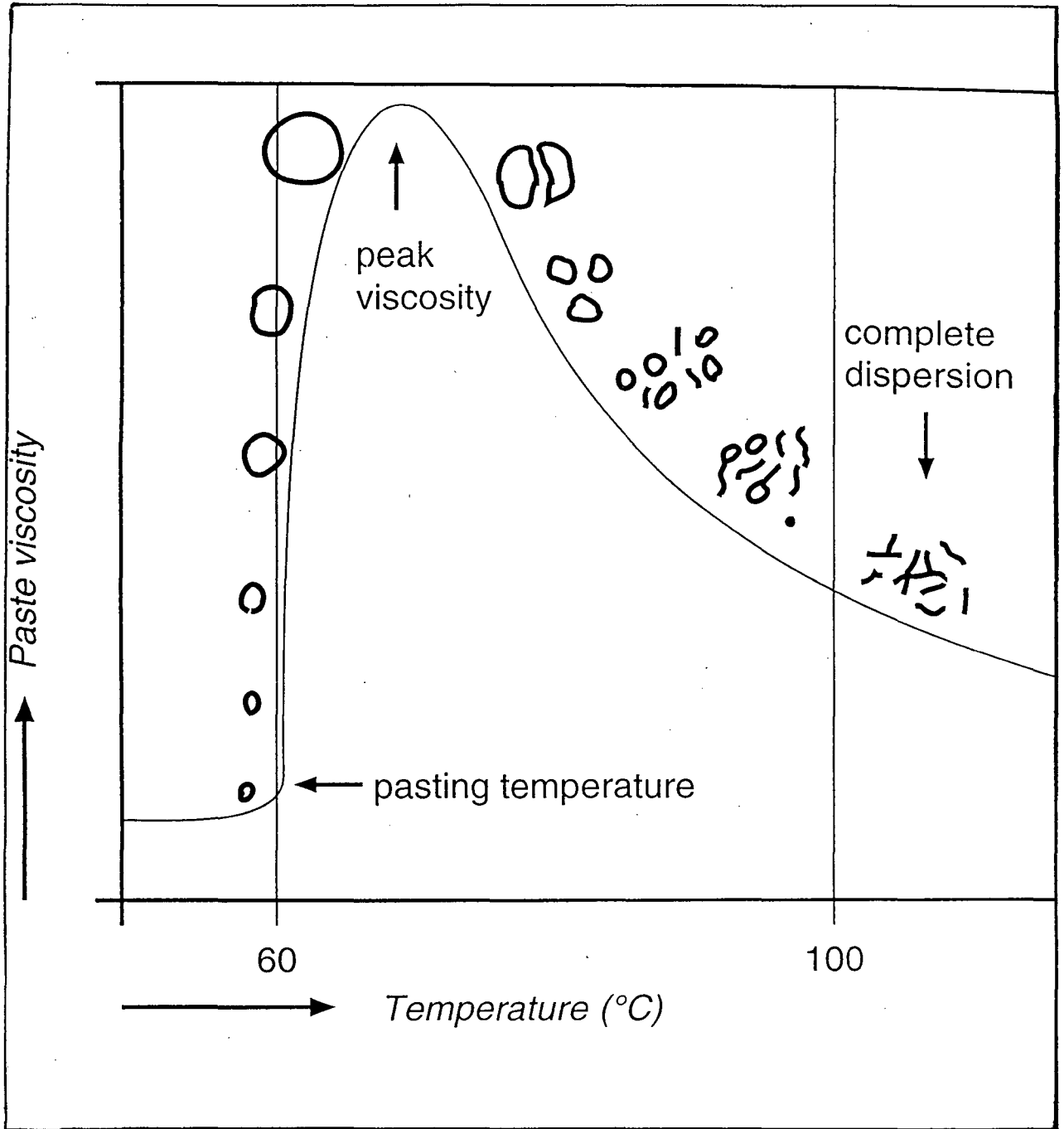
CUADRO 10: MÁRGENES DE GELIFICACIÓN DE DIFERENTES ALMIDONES ALIMENTICIOS

| ORIGEN | TEMPERATURA A LA QUE PIERDE SU BIRREFRINGENCIA (°C). | | | | | | | | |
|--|--|------|-----|-------|------|-----|-------|------|-----|
| | INICIO | | | MEDIO | | | FINAL | | |
| | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) |
| Maíz | 62 | 62 | 62 | - | 66 | - | 70 | 70 | 72 |
| Maíz córneo | 63 | 63 | 63 | - | 68 | - | 72 | 72 | 72 |
| Maíz con Alto contenido de amilosa (55%) | 67 | 67 | 67 | - | 80 | - | 87 | (a) | 80 |
| Grano de sorgo | - | 68 | - | - | 73.5 | - | - | 78 | - |
| Sorgo córneo | - | 67.5 | 58 | - | 70.5 | - | - | 74 | 74 |
| Cebada | 56 | 51.5 | - | - | 57 | - | 62 | 59.5 | - |
| Arroz | 61 | 68 | 62 | - | 74.5 | - | 78 | 78 | 78 |
| Centeno | 57 | 57 | - | - | 61 | - | 70 | 70 | - |
| Trigo | - | 59.5 | 58 | - | 62.5 | - | - | 64 | 64 |
| Guisantes (verdes) | 57 | 57 | - | - | 65 | - | 70 | 70 | - |
| Papa | 58 | 58 | 58 | - | 62 | - | 66 | 66 | 67 |
| Papa (tratada con vapor) | - | 65 | - | - | 71 | - | - | 77 | - |
| Yuca | 52 | 52 | 51 | - | 59 | - | 64 | 64 | 65 |

(a) Algunos granos son birrefringentes a 100 °C

FUENTE: (1) BELITZ, 1988; (2) FENNEMA, 1982; (3). BADUI, 1981.

FIGURA 08: HINCHAMIENTO, RUPTURA Y DISPERSION DE LOS GRANULOS DE ALMIDON DURANTE LA GELATINIZACION.



FUENTE: SWINKELS, 1997.

2.2.5.6. Viscosidad de las Pastas de Almidón.

La habilidad de los gránulos de almidón de inflarse y seguidamente romperse es de gran importancia tecnológica. Cuando la temperatura de suspensión de almidón supera el margen de gelificación, los gránulos continúan hinchándose si hay suficiente agua. En algunos casos la fricción llega a ser tan grande que los gránulos, ahora tan frágiles se rompen en fragmentos que originan reducción de la viscosidad; (FENNEMA, 1982).

El pico de viscosidad es la cantidad mas alta que el usuario puede encontrar durante la preparación de una pasta de almidón. El turbérculo y almidones de la raíz muestran un aumento mas elevado en viscosidad durante la cocción y un pico de viscosidad mas alto que los almidones comunes del cereal (SWINKELS, 1997).

CUADRO 11: CARACTERISTICAS DE LA GELATINIZACION DE ALMIDONES NATIVOS.

| Almidones | Temperatura de la pasta °C | Rango del Pico de viscosidad 5% de Concentración de Almidón Unidades Brabender | Promedio del Pico de viscosidad 5% de concentración de almidón Unidades Brabender | Poder de hinchamiento a 95 °C | % de Solubilidad a 95 °C |
|---------------|----------------------------|--|---|-------------------------------|--------------------------|
| Papa | 60 - 65 | 1000 - 5000 | 3000 | 1153 | 82 |
| Maíz | 75 - 80 | 300 - 1000 | 600 | 24 | 25 |
| Trigo | 80 - 85 | 200 - 500 | 300 | 21 | 41 |
| Yuca | 60 - 65 | 500 - 1500 | 1000 | 71 | 48 |
| Maíz céreo | 65 - 70 | 600 - 1000 | 800 | 64 | 23 |

Unidad Brabender (1 U.B. = 2 Centi poise)

FUENTE: SWINKELS, 1997.

Según un bien conocido método los cambios de viscosidad durante la cocción de una lata de pasta de almidón son seguidos con la ayuda de un visco - amilógrafo de Brabender. Este aparato mide la viscosidad de almidón en dispersiones de agua que se resuelven y se calientan a una proporción uniforme, tomadas a cualquier temperatura deseada por un tiempo específico luego son enfriadas a una proporción uniforme (SWINKELS, 1997).

2.2.5.7. Las Enzimas en el almidón

Las enzimas son catalizadores coloidales orgánicos, generalmente solubles en agua, formado dentro de las células vivas vegetales o animales, pero capaces de actuar en el exterior de las células y sin conexión de ellos; BRAVERMAN (1967).

En los almidones actúan las enzimas amilolíticas, como la α amilasa y amiloglucosidasa.

La α - amilasa, hidroliza las uniones α - D (1 - 4) glucosídicos en las cadenas internas y externas de las moléculas de almidón en forma randomizada al actuar sobre cadenas lineales de amilosa, causa una reducción del tamaño de las moléculas disminuyendo su viscosidad; las uniones α - (1 - 6) no pueden ser hidrolizadas por la enzima.

La hidrólisis de la amilosa produce maltosa y glucosa, mientras que la hidrólisis de la amilopectina, genera glucosa, maltosa y dextrinas, límite que contiene los enlaces α - (1 - 6).

La β - amilasa actúa a partir de los extremos terminales no reductores de las cadenas externas de amilosa y amilopectina, liberando unidades de

maltosa al romper en forma alterna y sucesiva las uniones. α - (1 - 4). La amilosa con un número par de unidades de D - glucosa es hidrolizada completamente a maltosa mientras que si su contenido en unidades D - glucosa es irregular (impar) será hidrolizada a maltosa y maltotriosa que contiene la unidad reductiva de D - glucosa de la amilosa original; WHISTTER Y PASCHALL (1965), citado por LOAYZA, (1981).

La β - amilasa, degrada un 55% de la amilopectina, los productos son: maltosa y un residuo grande: dextrina límite β . La dextrina límite β tiene el peso molecular muy elevado 10^4 , (HOSENEY, 1991).

La glucoamilosa, las "dextrinas límites", incompletamente atacadas, producidos por la acción de las enzimas precedentes, pueden ser hidrolizadas específicamente en glucosa, por una enzima llamada amiloglucosidasa, que se encuentra en diversos microorganismos; escinde los enlaces α - 1,4, así como los enlaces α - 1,6. Industrialmente se prepara por fermentación.

La "Pullulanasa" y la "Isoamilasa" son dos enzimas que atacan los puntos de ramificación y han servido también de gran ayuda para determinar la estructura de la amilopectina. Las dos hidrolizan los enlaces α - 1,6 y no actúan sobre los α - 1,4, (HOSENEY, 1991).

La acción de las enzimas amilolíticas sobre los gránulos de almidón depende, en gran parte, del grado de hidratación así como de la estructura de los gránulos.

CUADRO 12: CARACTERISTICAS DE TRES TIPOS DE ENZIMAS

| Enzima | Origen | Masa molecular | pH óptimo | pH de estabilidad | Temperatura óptima (°C) | Temperatura de inactivación (°C) |
|--------------------|---------------------|----------------|-----------|-------------------|-------------------------|----------------------------------|
| α-amilasa | - Páncreas de cerdo | 51 000 | 6.9 | 7 a 8.5 | ----- | ----- |
| | - Malta de cebada | 59 000 | 4.7 a 5.4 | 4.9 a 9.1 | 50 a 65 | ≅ 85 |
| | - Bacillus subtilis | 49 000 | 6 | 4.8 a 8.5 | 70 | inactivación parcial a 100 °C |
| β-amilasa | Aspergillus orizae | 52 000 | 5.5 a 5.9 | 5.5 a 8.5 | 65 | ≅ 75 |
| | - Boniato | 152 000 | 4 a 5 | ----- | ----- | ----- |
| | - Cebada | - | 5.2 | 4.5 a 8 | ----- | 70 a 75 |
| Glucoamilo-amilasa | Aspergillus oryzae | 97 000 | 4 a 5 | ----- | 60 | ----- |

FUENTE: CHEFTEL, 1992.

La licuefacción y sacarificación de almidones constituye una de las aplicaciones más importantes de enzimas en la industria de alimentos. La finalidad de su realización es la obtención de dextrinas mono y disacáridos por hidrólisis total y parcial del almidón. Entre las diversas aplicaciones figuran los siguientes: aumento de la velocidad de filtrado, efectúa el paso de licuefacción en los procesos designados para la sacarificación de almidones y granos tales como los realizados en la producción de jarabes, dextrosa, cerveza y bebidas destiladas; disminución de la viscosidad en masas de

cereales, antes de su deshidratación para la obtención de cereales precocidos, etc.

La sacarificación se emplea para la conversión de almidones en jarabes dulces, en la preparación de azúcares fermentables de granos de maíz o papa; ZAPATA (1978), citado por LOAYZA, (1981).

2.2.6. Derivados del Almidón

Muy a menudo el almidón virgen no es el mejor producto en una aplicación o proceso particular. Las modificaciones de almidones vírgenes se llevan a cabo para proporcionar a los productos de almidón de las propiedades necesarias para usos específicos. La modificación de las propiedades de almidones vírgenes es un factor importante en el incremento y continuo uso de productos de almidón para proporcionar las funciones de espesamiento, aglutinación, gel, adhesivo y/o formador de película. Las muchas maneras de modificación de almidón virgen están diseñadas para cambiar una o más de las propiedades siguientes:

- Temperaturas de pastosidad
- relaciones de viscosidad - sólidos
- características de gelatinización y cocción
- la resistencia de pastas de almidón a ceder a la viscosidad por ácidos, calor y/o mecánico
- las tendencias de retrogradación
- el carácter iónico
- El carácter hidrófilo (SWINKELS, 1997).

Los almidones modificados que están actualmente a disposición de la industria alimentaria, pueden ser agrupados según la forma de modificación:

- Modificaciones por medios físicos
- Modificaciones por medios físicos- químicos
- Modificaciones por oxidación
- Modificaciones por esterificación.

Las modificaciones físicas implica la hidratación de los almidones (Pregelatinizados). Son almidones nativos calentados en suspensiones acuosas por encima del punto de gelificación, posteriormente hidratados, gelatinizados y secados. Por ejemplo, se han obtenido almidones fluidos por tratamientos en suspensiones acuosas, a temperaturas por debajo del punto de gelatinización con contenidos muy pequeños de HCl y H₂SO₄; después del tratamiento los almidones son neutralizados con soda u otro álcali, lavados y secados. Los productos obtenidos no son solubles en agua fría.

Otro representante de una modificación son las pirodextrinas (dextrinas tostadas); estos almidones modificados son obtenidos por medio del tostado de almidones nativos acidificados en presencia de pequeñas cantidades de HCl, con temperaturas debajo del punto de gelatinización. Los almidones nativos también son modificados por oxidación en suspensión acuosa y calentamientos suaves.

CUADRO 13: MODIFICACION DE LOS ALMIDONES

| Nº | TIPO DE MODIFICACIÓN | PRINCIPALES OBJETIVOS | TRATAMIENTOS |
|----|--|---|---|
| 1 | Almidón pregelatinizado | - Dispersabilidad en agua | - Secado de tambor-extrusión |
| 2 | Almidones de baja Viscosidad | - Bajar la viscosidad | - A, b, c ó d |
| | a. Dextrinas | - Bajar la viscosidad - Estabilizar el rango de viscosidad | - Tratamiento con ácido en calor, luego secado. |
| | b. Modificación del almidón con ácido. | - Tener la viscosidad mas baja - Alta tendencia a la formación de gel | - Hidrólisis ácida (suspensión). |
| | c. Almidón Oxidado | - Tener la mas baja viscosidad - Alta tendencia a la formación de gel. | - Oxidación (en suspensión o pasta) |
| | d. Almidón enzimáticamente modificado | - Tener la mas baja viscosidad | - Enzima Alfa- Amilasa (pasta) |
| 3 | Almidón unido en cruz | - Modificación de las características de cocción | - Entrecruzamiento en suspensión |
| 4 | Almidón estabilizado | - Mejorar la estabilidad de la viscosidad | - Esterificación - Eterificación |
| 5 | Combinación de las modificaciones. 1, 2, 3 y/o 4 | - Combinación de los objetivos: 1, 2, 3 y/o 4. | - Combinación de los tratamientos: 1, 2, 3 y/o 4. |
| 6 | Azúcar de almidón | - Sacáridos dulces | - Acidos y/o enzimas |

FUENTE: SWINKELS, 1997.

La introducción de grupos éster o éter pueden realizarse por medio de reactivos polifuncionales. Ejemplo: Monofosfato de almidón, almidones, glicerol de almidón, acetato de almidón, etc. ; (GRACE, 1977).

La modificación de un almidón virgen puede involucrar un cambio en la forma física, una degradación controlada y/o la introducción de grupos químicos. El cuadro N° 13, muestra varios métodos de modificación de los almidones.

2.2.7. Usos del Almidón

Las industrias alimentarias son uno de los consumidores más importantes de almidón y sus productos, se usa almidón sin modificar, almidón modificado y glucosa para uno o más de los siguientes fines:

- a) directamente como alimento amiláceo cocinado, flanes y otras formas;
- b) espesante: aprovechando las propiedades pastosas del almidón (sopas, alimentos para bebés, salsas, etc.);
- c) carga: contribuyendo al contenido de sólidos de sopas, píldoras, tabletas y otros productos farmacéuticos, mantecados - helados, etc.;
- d) aglutinante: adhesión de los productos y prevención del secado de la masa durante el cocinado (en salchichas y carnes elaboradas);
- e) estabilizador: utilizando la elevada capacidad de retención del agua del almidón (mantecados - helados), (GRACE, 1977).

La amilosa es específicamente útil para recubrimientos de frutas (dátiles, higos) y frutas desecadas o glaseadas, pues evita la adhesividad que normalmente poseen. Un tratamiento similar de las patatas fritas hace disminuir el peligro de oxidación. La buena capacidad de formación de geles de la amilosa dispersable la hace indicada para su uso en postres y salsas instantáneas. Las películas de amilosa pueden ser útiles también para un mejor envasado de alimentos como café y té instantáneos. La amilopectina es utilizada, en rasgos generales, como espesante, estabilizante y adhesivo (BELITZ, 1988).

El almidón tiene infinidad de usos, los cuales pueden ser en alimentos y para fines industriales.

En alimentos, como ingredientes de diversos productos en panificación y galletería.

En productos auxiliares para la industria:

Como apresto en la industria textil y de papel.

En la industria farmacéutica, para dar formas y consistencias a las patillas y como vehículos de los medicamentos.

En la fabricación de caramelos y confites para facilitar el moldeo.

Como absorbentes de aceites, grasas y agua.

Como materia prima básica para otras sustancias como de almidones modificados, dextrinas, jarabes, pegamentos, acetona, alcohol etílico.

En la industria de levaduras, en la industria cervecera para reemplazar hasta 1/3 de la malta.

Para la fabricación de fideos y pastas alimenticias: ECHECOPER, (1968), citado por (LOAYZA, 1981).

2.3. PROCESO DE OBTENCION DEL ALMIDON POR VIA HUMEDA

Entre los procedimientos industriales de obtención de almidón de raíces y tubérculos por vía húmeda, tenemos:

- a) Por acción bioquímica
- b) Por desintegración mecánica

* El método por acción bioquímica consiste en que los tubérculos son sometidos a un proceso de fermentación o pudrimiento durante cierto periodo. Luego son machacados para ser transformados en una pulpa. Se separa después el almidón de la pulpa por medio de lavados sucesivos con agua limpia. Este método de elaboración de almidón de raíces y tubérculos fue empleado principalmente en China y los Estados Malayos a principios de siglo XIX.

• El método por desintegración mecánica consiste en someter a los tubérculos, previo lavado, a máquinas ralladoras o molinos desintegradores especiales. Así se forma una pulpa que es lavada sobre tamices para separar la fibra gruesa. La lechada luego es sometida a un proceso de purificación en extractores, centrífugas o canales de sedimentación.

* Ambos métodos persiguen esencialmente lograr la ruptura de las células para poner en libertad los gránulos de almidón que lo contienen. Es casi imposible evitar que gran cantidad de estas células escapen a esta ruptura y por lo tanto llevan consigo cierta cantidad de almidón al residuo fibroso, con la consiguiente baja en el rendimiento de almidón.

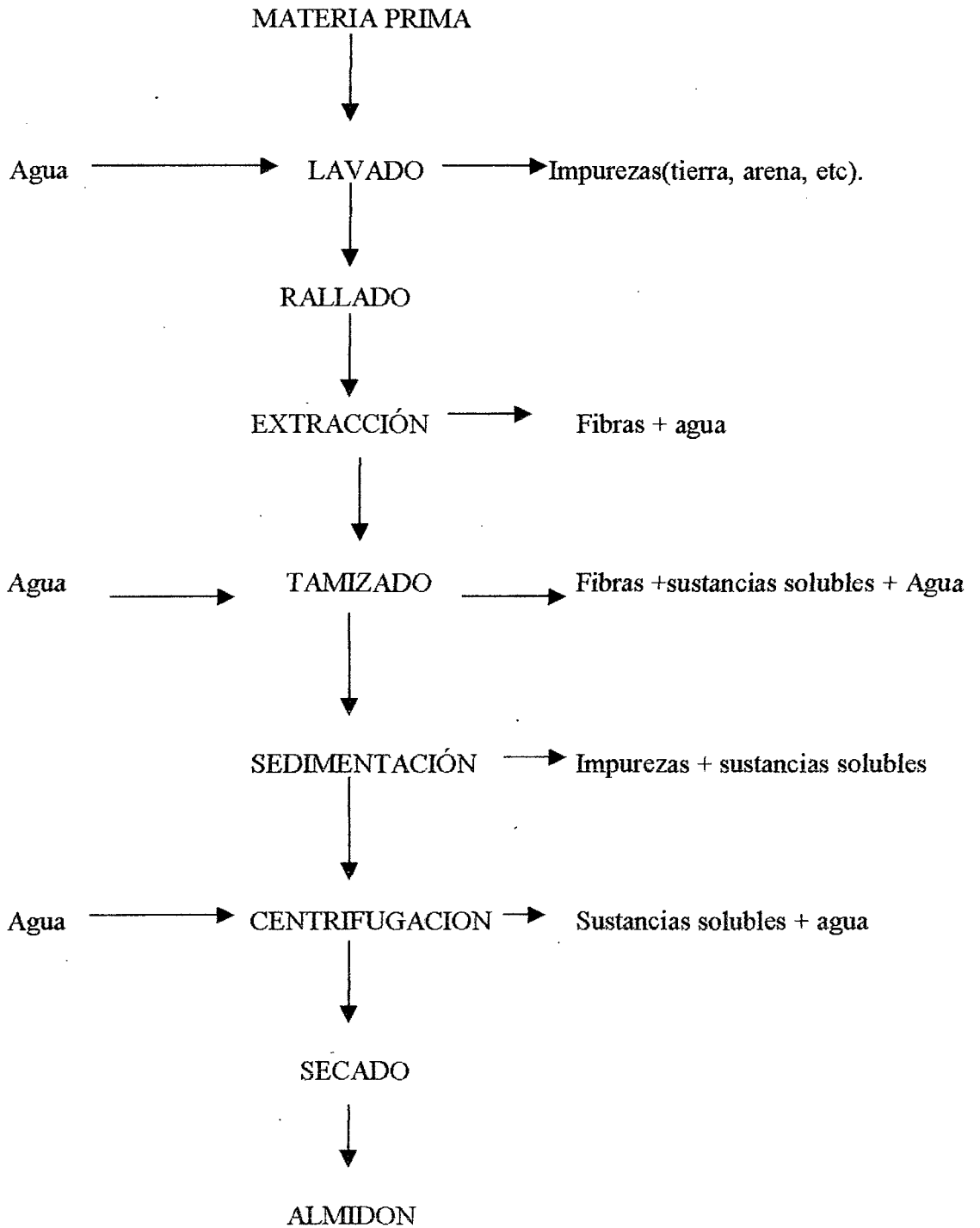
* En el método bioquímico se obtiene un almidón de inferior calidad. Se hace necesario depósitos de fermentación y se usa para la producción en pequeña escala. En el método por desintegración mecánica, el almidón es de calidad superior. Al emplear mecanismos técnicos facilita un continuo control del proceso para mejorar el producto y producir en gran escala.

Las fases de la elaboración del almidón de raíces y tubérculos se presentan en forma esquemática en la figura 09 siendo las siguientes:

- A. Trituración de las células y separación de los gránulos de las demás sustancias insolubles, es decir de las impurezas adheridas y del material que forman las paredes de la célula. Esta fase comprende las operaciones de lavado, rallado y tamizado.
- B. Sustitución por agua pura de la solución acuosa que rodea los gránulos de fécula, que se obtiene en la fase (A). Comprende : la sedimentación y lavado de las féculas en piletas y canales de sedimentación o centrífugas.
- C. Eliminación del agua por desecación.
- D. Operaciones de acabado: molienda, cernido y empaçado del almidón.

La tecnología de las operaciones y procesos unitarios más importantes en la fabricación del almidón son:

FIGURA 09: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ALMIDON POR VIA HUMEDA



La tecnología de las operaciones y procesos unitarios más importantes en la fabricación del almidón son:

2.3.1. Lavado

Toda raíz y tubérculo contiene impurezas en su superficie externa al ser extraídos, en la cosecha de la tierra; tales como: arenas, piedras, tierra fuertemente adheridas a las hendiduras de las raíces y tubérculos, etc.

El lavado permite dejar a la materia prima libre de las sustancias que la contaminan dejando su superficie en condiciones adecuadas para su elaboración posterior (FELLOWS, 1994).

Condiciones para un eficaz lavado de raíces y tubérculos:

- Separación cuidadosa de las piedras y otras materias extrañas.
- Contacto prolongado de los tubérculos con el agua para reblandecer las partículas de tierra adheridas
- Movimiento y flotación continua de las raíces y tubérculos entre sí para que se desprenda la tierra.
- Flujo suficiente de agua para arrastrar las impurezas desprendidas.

2.3.2. Pelado

Operación imprescindible en la elaboración de muchas frutas y verduras, consiste en eliminar el material no comestible, existiendo varios métodos: Pelado a cuchillo, pelado por abrasión, pelado cáustico y pelado a la

llama (FELLOWS, 1994). La porción no comestible cáscara, en los ñames (*Dioscorea spp*), es del 10% (MONTALDO 1991).

2.3.3. Rallado

Se realiza con el objeto de convertir las raíces y tubérculos en una pulpa la más fina posible de la cual se pueda extraer el almidón por simple lavado y tamizado.

De esta operación depende el rendimiento de la fábrica. En la práctica se realiza sólo hasta ciertos límites más allá de los cuales el consumo de energía y la maquinaria necesaria sería excesivo haciendo el proceso muy costoso. Generalmente se usa ralladores mecánicos tipo hojas de sierra por ser más eficaces.

2.3.4. Extracción

Separación en forma de una lechada, de la fibra y de los trozos de pulpa que aún hubieran quedado sin ser desintegrados por haber escapado a la acción del rallador.

2.3.5. Tamizado

La lechada impura proveniente de los extractores está constituida por partículas de almidón, restos de partículas fibrosas, sustancias solubles y agua.

El objeto es de separar las fibras de constitución de los tubérculos. Los restos de fibras son de mayor longitud que los de gránulos de almidón. Esta diferencia de tamaño sirve para separar las fibras por tamizado, en cedazos de tela metálica.

Para separar la pulpa de la fécula libre, es preciso añadir agua en abundancia a la pasta que se obtiene en el rallador, y remover vigorosamente la lechada resultante antes de proceder a tamizarla. La mezcla con agua puede hacerse más o menos independientes del tamizado, pero lo corriente es que las dos operaciones se combinen en un "Tamizado húmedo", es decir, que la masa se aclare con abundante agua en un tamiz que esté en movimiento continuo, (GRACE ,1977).

2.3.6. Sedimentación

El término sedimentación incluye todas las operaciones que tienen por objeto separar la fécula pura de los materiales solubles que la acompañan. La influencia de la gravedad origina que las partículas se sedimenten cayendo al fondo, cerca de la entrada se encuentran las partículas de mayor velocidad de sedimentación. Las partículas con menor velocidad de sedimentación son acarreadas un espacio mayor dentro del tanque antes de sedimentarse en el fondo, (GRACE ,1977).

La calidad del almidón producido depende en gran parte de la correcta ejecución de las operaciones que comprende la sedimentación en tanques de

purificación. La ejecución de ésta operación se dan en canales o mesas de sedimentación o por la acción de los separadores modernos.

Los tanques de purificación tienen por objeto eliminar todas las impurezas que acompañan al almidón, tales como fibras que hayan podido escapar a la acción del tamizado, partículas de tierra y arena que hubieran escapado a la acción de la limpieza en el lavado, etc. Además elimina los jugos solubles de las raíces y tubérculos y permite obtener un almidón lo más puro posible, para poderlo enviar a las centrífugas.

Los canales de sedimentación tienen por objeto eliminar los jugos solubles y alguna cantidad de fibras y arenas que pudieran escapar a la acción de los tanques purificadores. Con este tipo de sedimentación en canales se ha conseguido efectuar una separación más rápida y más limpia de almidón, presentando además la ventaja de conseguir eliminar una parte de la fibra por arrastre del agua.

2.3.7. Centrifugación

La operación de centrifugación tiene por objeto eliminar totalmente los restos de jugos solubles y reducir en lo máximo posible el agua que contiene el almidón para someterlo al secado.

El fundamento de la operación de lavado por centrifugación consiste en que las partículas que se suspenden en un líquido son expelidas por la fuerza centrífuga a una velocidad máxima en proporción a su altura y a su gravedad. Debido a ello la lechada de almidón se introduce en un cilindro de

revoluciones de alta velocidad giratoria. Las granulaciones del almidón especialmente las materias pesadas. Se adhieren con firmeza a las paredes, mientras que las impurezas se separan cerca del eje y el agua impura se concentra en el centro.

Una centrífuga especial para tratar la lechada de almidón es la de tipo canasta apoyada. Esta centrífuga simultáneamente realiza dos operaciones que son las de reducir la mayor parte del agua y al final de cada ciclo efectuar un lavado de la masa de almidón obtenida con solamente mandar a la centrífuga agua limpia (CUEVA, 1960), Citado por (LOAYZA, 1981).

2.3.8. Secado

El secado o deshidratación de alimentos consiste en la eliminación casi completa del agua que contiene, por evaporación o sublimación, bajo condiciones de control que producirán sólo un mínimo de cambios o idealmente ningún cambio en las propiedades del alimento (MENDIETA Y MEDINA, 1994). Según (POTTER, 1978), cualquiera sea el método de secado empleado, la deshidratación de un alimento consta de dos etapas: La introducción del calor al producto y la extracción de humedad del producto.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación, se realizó en los Laboratorios de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales (ANACOMPA), Tecnología de Productos Agroindustriales No Alimentos (TEPANAL), Microbiología de los Alimentos, de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial; los Laboratorios de Biología y Análisis de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Martín, durante los meses de Junio - Setiembre de 1998 y Setiembre - Noviembre de 1999.

3.2. Materia prima

Se empleó como materia prima los bulbos aéreos de Papa Aérea (*Dioscorea bulbifera L.*), conocida también como riñón papa o ñame congo, que fue obtenido de cultivos domésticos de la provincia de Moyobamba, Departamento de San Martín. Los bulbos fueron cosechados en los meses de Mayo de 1998 y Mayo de 1999.

3.3. Equipos y Materiales Utilizados

- Secador de bandejas, marca MEMMERT, tipo ULE 600, Temperatura máxima 220°C.
- Centrifuga DAMON/IEC DIVISION, Modelo HN/SII, 1/7 HP, de 1000 a 9000 rpm, 115 Voltios, USA.

- Autoclave con presión máxima 4 Kg/cm², HIRAYAMA MANUFACTURING CORPORATION, Modelo HL3030, 2000 Watts, Japón.
- Digestor Büchi para proteína, Tipo B425, 1100 Watts, Suecia.
- Equipo de Semi-microKjedhal, Marca J.P. Selecta, Modelo 627, 220 Voltios, 2000 Watts.
- Determinador de humedad con Rayos Infrarrojos DENVER INSTRUMENT COMPANY USA, Modelo B03-2488, 550 Watts.
- Microscopio binocular con cámara fotográfica marca CARL ZEISS JENA LABO VAL - 4.
- Cámara Neubauer; depth = 0.100mm, 1/400 mm²
- Espectrofotómetro KPK - 3, de 300 a 900 nm, sensibilidad 0.001, URSS.
- Mufla Thermolyne 1500 Furnace, Temperatura máxima 1200°C, 2240 Watts, USA.
- Bomba para vacío Gast - Mfg.
- Estufa MEMMERT, tipo U30. Temperatura máxima 220°C, 1400 Watts.
- Baño María MEMMERT, tipo W- 350, Temperatura máxima 110°C, 1600 Watts.
- Balanza Digital Sartorius Ginbh Gottingen, capacidad 110 gr, exactitud 0.1 mg.
- Balanza Digital DENVER INSTRUMENT COMPANY, Modelo AA200, Capacidad 210 g, exactitud 0.1 mg, USA.
- Balanza Triple brazo Ohaus, Capacidad 2610gr. z Exactitud 0.1 gr.

- Potenciómetro SCHOTT, CG 818, Gerate – Alemania.
- Agitador magnético
- Cocina eléctrica Fisher, temperatura máxima 600°C
- Licuadora marca OSTER
- Equipo de filtrado
- Extractor Soxhlet
- Tamices ASTM- E 11, N° 80, N° 100 y N° 200
- Campanas desecadoras de vidrio
- Psicrómetro de bulbo seco y bulbo húmedo, T° máxima 75°C.
- Viscosímetro rotacional “Visco Star – R; Fungilab S.A., Husillos R2 al R7; revoluciones de 10 a 200 rpm.
- Termómetros (- 10 a 110°C)
- Cuchillos de Acero inoxidable
- Equipo de titulación.
- Materiales de vidrio:
- Pipetas de 1, 2, 5 y 10 ml.
- tubos de ensayo de 8 y 10 ml.
- gradillas
- baguetas
- fiolas de 50, 100, 250, 500 y 1000 ml
- vasos de precipitación
- placas petri
- crisoles
- papel filtro Wattman n° 04
- cuenta colonias

- Picetas
- Baldes de plástico

3.4. Reactivos

- Acido sulfúrico concentrado
- Acido clorhídrico concentrado
- Acido nítrico
- Permanganato de potasio
- Hidróxido de sodio
- Hidróxido de potasio
- Glucosa anhidra
- Dinitrofenol
- Fenol
- Sal de Rochelle
- Yoduro de potasio
- Etanol
- Tolueno
- Azul de metileno
- Anaranjado de metilo
- Rojo de congo
- Solución de yodo
- Medio de cultivo Agar Plate Count
- Medio de Cultivo Agar OGA

3.5. Metodología Experimental

El experimento comprendió dos fases, la primera fase se refiere al aislamiento y la segunda a la caracterización del almidón a nivel de laboratorio.

3.5.1. Obtención de almidón de papa aérea a nivel de laboratorio

El objetivo principal del aislamiento del almidón de papa aérea, fue disponer de un almidón purificado para realizar determinaciones como: aspecto, tamaño y distribución de partículas, solubilidad, poder de hinchamiento, etc.

Se empleó el método seguido por Adkins y Greenwood (1966), utilizado por Loayza 1981, en el cual se describen técnicas que permiten el aislamiento de cereales ó tubérculos a escala de laboratorio, en medio casi neutro, condiciones que evitan la ruptura de los gránulos.

Las etapas que comprende este método son:

3.5.2. Preparación

Permite realizar el acondicionamiento de la materia prima. Después del pelado y cortado de los bulbos se eliminan las impurezas y se lava con agua destilada para eliminar las sustancias mucilaginosas que están presentes.

3.5.3. Extracción

El material remojado es lavado y reducido a tamaños más finos; luego se pasó por malla de 75 micras de abertura y se lavó con agua destilada. Esto se repite hasta que el residuo del tamiz se aprecie libre de finos.

3.5.4. Purificación

El producto libre de fibra se coloca en un vaso y por centrifugación se separa el almidón de la porción proteica y de otras sustancias solubles o suspendidas en el agua.

El almidón blanco resedimentado en agua destilada, se pasó por malla de 75 micras y se agitó en solución salina acuosa (10 °Be) con tolueno (1 de tolueno a 8 de agua V/V). Se retira el tolueno y el resto que queda se eliminó por lavados con agua (centrifugando). La primera fase consistió en la obtención del almidón y la segunda en su caracterización físico química.

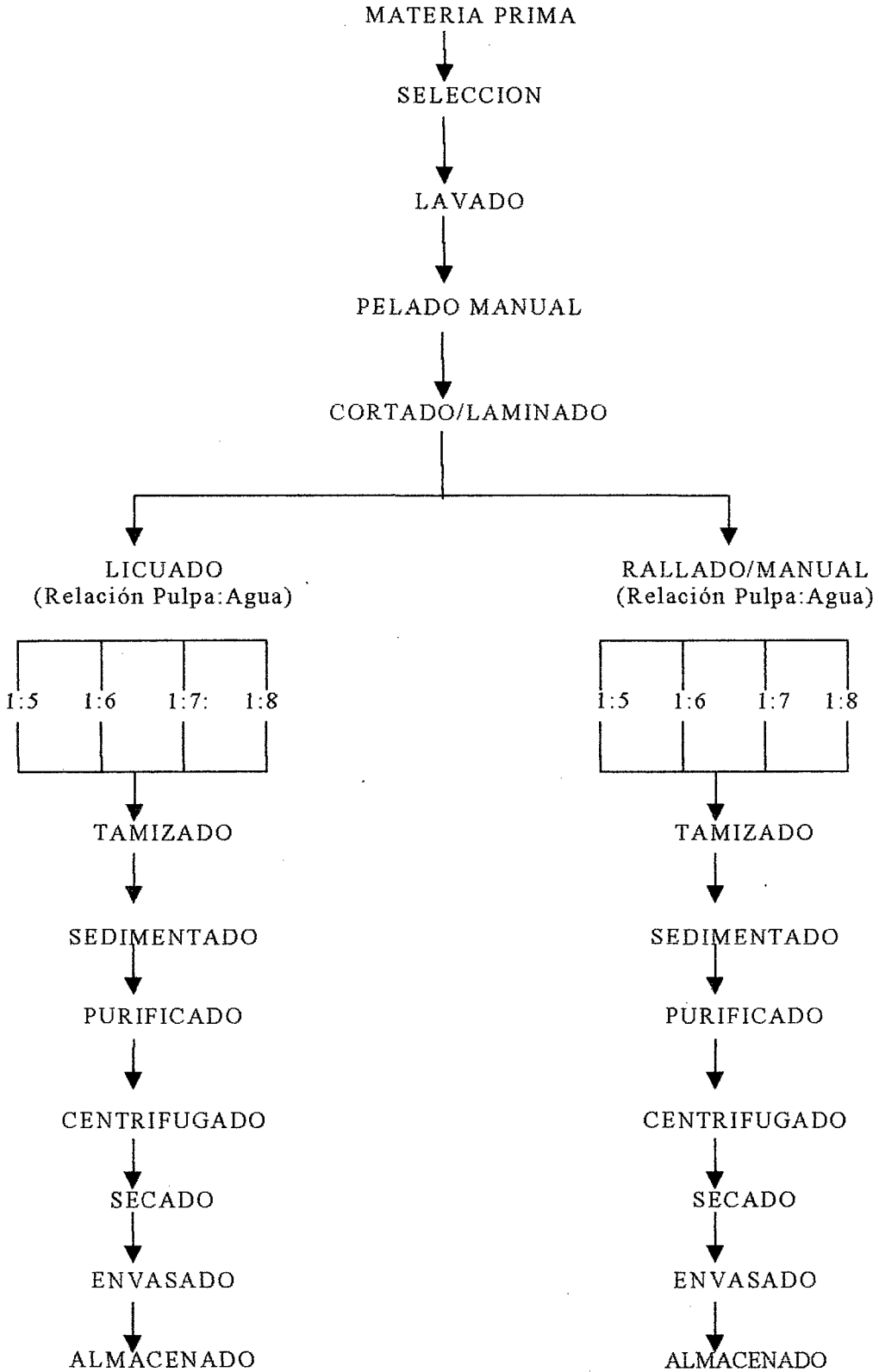
3.6. Descripción del Flujo de Obtención de Almidón de Ñame Congo, “papa aérea”

El objetivo principal del aislamiento del almidón de ñame congo, es disponer de un almidón purificado para realizar determinaciones como: Aspecto, tamaño y distribución de partículas, solubilidad, poder de hinchamiento, etc.

El diagrama de flujo preliminar se presenta en la Figura 10.



FIGURA 10: DIAGRAMA DE FLUJO PRELIMINAR PARA LA OBTENCION DE ALMIDON DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera L.*)



3.6.1. Recolección o Cosecha

La cosecha se realizó en forma manual, al notar gran facilidad de desprendimiento de los bulbos en forma natural de la planta, se recolectaron muestras de diversas formas geométricas, pesos y tamaños en el mismo período de cosecha.

3.6.2. Transporte

El transporte de los bulbos aéreos, se realizó colocándoles en cajas de cartón corrugado de aproximadamente 20 Kg cada una y se realizó por vía terrestre hacia la ciudad de Tarapoto.

3.6.3. Recepción

La recepción de la materia prima tuvo lugar en las Instalaciones del Laboratorio de Tecnología de Productos Agroindustriales no Alimentos (TEPANAL) de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín.

3.6.4. Selección y clasificación

La selección nos permitió contar con bulbos aéreos maduros, sanos, y libres de magulladuras para el trabajo posterior. Los bulbos fueron

clasificados según la forma geométrica que poseen: arriñonadas, hepáticas, acorazonadas, etc; tamaño y color.

3.6.5. Pesado

Los bulbos fueron pesados antes de realizar las pruebas de extracción respectivas para poder determinar el porcentaje de rendimiento y las mermas o desperdicios respectivos.

3.6.6. Lavado

Se realizó por aspersion con agua potabilizada, con la finalidad de eliminar las materias extrañas: tierra y algunas sustancias adherida a los bulbos y reducir la carga microbiana.

3.6.7. Pelado

La operación de pelado se realizó en forma manual, con la utilización de cuchillos de acero inoxidable, y en presencia de abundante agua para evitar la oxidación y disminuir la presencia de mucílagos que se desprende al quitar la cáscara.

3.6.8. Cortado o Laminado

Los bulbos pelados fueron cortados en láminas de 0.8 a 1.0 cm de espesor, y luego fueron cortados en cubitos pequeños de 1 x 1 cm. luego sumergidos en solución de bisulfito de sodio al 0.2%, para evitar el pardeamiento y además facilitar el desprendimiento del líquido mucilaginoso que desprende el bulbo.

3.6.9. Extracción

La extracción comprendió las operaciones de:

3.6.9.1. Reducción a Finos :

Se utilizaron dos formas de reducción a finos del parénquima y la médula de los bulbos; en la primera forma se rallaron los bulbos sobre rallador metálico, lo cual presenta mucha dificultad por la gran presencia de mucílagos que no permiten un mayor avance y también por la dureza de los bulbos. El segundo método se realizó utilizando una licuadora comercial marca Oster que permite una mejor reducción a finos de los trozos de 1.00 x 1.00 cm; debido a la utilización de abundante agua en el licuado, se reduce la elasticidad de la pasta que está proporcionada por los mucílagos. Las fibras y residuos de pulpa se extraen con el uso de tamices y telas de tocuyo obteniendo la solución de almidón o lechada que arrastra a los almidones y compuestos solubles en agua.

3.6.9.2. Tamizado :



La lechada impura con contenidos de almidón, partículas fibrosas y sustancias solubles se pasaron por medio de mallas metálicas o tamices Número 100 (150 μm), utilizándose agua en abundancia, para solubilizar y lavar la sustancia mucilaginosa que en todo momento está presente. Se utilizaron diversas relaciones de materia prima y agua.

3.6.9.3. Sedimentación :

La calidad del almidón depende de la correcta operación de sedimentación, ésta se realizó en vasos de precipitación donde se depositaron las lechadas para su sedimentación y así obtener la precipitación del almidón, los jugos solubles se eliminaron constantemente debido a que presentaron una coloración amarillenta típica de los bulbos.

3.6.9.4. Purificación

El almidón blanco se procedió a lavar con una solución (1 Tolueno a 8 de Agua V/V), para eliminar las mucoproteínas y reducir la presencia de grasa. Se separó el Tolueno y el resto que queda se elimina por lavados sucesivos con agua destilada.

3.6.10. Secado

El secado se realizó en secador de cabina por flujo de aire caliente a una temperatura de secado de 60°C por 8 horas.

3.6.11. Empacado

Se realizó en bolsas de polietileno de alta densidad, para proteger al producto de la humedad, el vapor y el oxígeno causantes de deterioro.

3.7. METODOS DE CONTROL

3.7.1. Controles en materia prima

Los controles que se han realizado fueron: análisis físico y análisis químico proximal; contenido de almidón, azúcares totales y azúcares reductores; contenido de oxalato de calcio y contenido de minerales como Calcio.

3.7.1.1. Características Biométricas y Propiedades Físicas

Se realizaron los análisis de las características biométricas, color y densidad.

3.7.1.1.1. Biometría

Utilizando Micrómetro (Pie de Rey) se midió el tamaño de los bulbos tanto largo, ancho y espesor. Se pesaron los bulbos en un total de 60 y se tomaron los pesos mínimos y máximos, luego se promediaron estos valores.

3.7.1.1.2. Densidad aparente

Se hizo mediante el Principio de Arquímedes donde los bulbos aéreos se pesaron y se midió el volumen desplazado de agua en una probeta milimetrada, luego se aplicó la relación masa/volumen, método citado por Martínez, 1988.

3.7.1.2. Análisis químico proximal

3.7.1.2.1. Humedad.

Se realizó por dos métodos: Mediante la balanza digital con rayos infrarrojos e impresora Denver Instrument Company USA, y por el método de la Estufa a Presión Atmosférica de 110°C, durante 24 horas (AOAC, 1960).

3.7.1.2.2. Proteína Total

Se utilizó el equipo Semi-microkjeldhal (AOAC, 1960). El porcentaje de nitrógeno se multiplicó por el factor 6.25

3.7.1.2.3. Grasa total

Se hizo por extracción con éter etílico como solvente, mediante el método Soxhlet, (AOAC, 1960)

3.7.1.2.4. Ceniza Total

Se determinó por calcinación de la muestra en una mufla a 550°C por cuatro horas (AOAC, 1960)

3.7.1.2.5. Fibra Total

Se determinó por hidrólisis ácida y alcalina (AOAC, 1960).

3.7.1.2.6. Carbohidratos Totales

Se obtuvo por diferencia, restándose de 100 los porcentajes de humedad. Proteína, grasa, cenizas y fibra.

3.7.2. Controles durante el proceso

Los análisis realizados durante el proceso fueron humedad, contenido de almidón.

3.7.3. Controles en el producto terminado (Almidón)

Los análisis realizados en el producto terminado (Almidón) fueron: análisis químico proximal, pH, acidez total, olor, color y material no amiláceo (NAM), curvas de viscosidad, solubilidad y poder de hinchamiento, afinidad de yodo, poder de gelificación, y pruebas microbiológicas.

3.7.3.1. Análisis químico proximal

3.7.3.1.1. Humedad.

Se realizó por dos métodos: Mediante la balanza digital con rayos infrarrojos e impresora Denver Instrument Company USA, y por el método de la Estufa a Presión Atmosférica de 110°C, durante 24 horas (AOAC, 1960).

3.7.3.1.2. Proteína Total

Se utilizó el equipo Semi-microkjeldhal (AOAC, 1960). El porcentaje de Nitrógeno se multiplicó por el factor 6.25

3.7.3.1.3. Grasa total

Se hizo por extracción con éter etílico como solvente, mediante el método Soxhlet, (AOAC, 1960)

3.7.3.1.4. Ceniza Total

Se determinó por calcinación de la muestra en una mufla a 550°C por cuatro horas (AOAC, 1960)

3.7.3.1.5. Fibra Total

Se determinó por hidrólisis ácida y alcalina (AOAC, 1960).

3.7.3.1.6. Carbohidratos Totales

Se obtuvo por diferencia, restándose de 100 los porcentajes de humedad. Proteína, grasa, cenizas y fibra

3.7.3.2. Determinación de almidón, azúcares reductores y azúcar total

Se utilizó el Método de Frak Ross, descrito por Talburt y Smith (1975) y el Método ROSS modificado por el CIP (1979), citado por Loayza, 1,981; (Anexo 06), para esto se estableció la Curva Estándar de Glucosa (Anexo 07).

3.7.3.3. Determinación del contenido de Oxalato de Calcio

Se empleó el método indicado por Weberhell y Smith (1975), citado por Loayza, (1981), (ver Anexo 08).

3.7.3.4. Determinación de Calcio

Por determinación indirecta el contenido de oxalato de calcio, citado por Loayza, 1981.

3.7.3.5. Determinación del pH y acidez total

3.7.3.5.1. Determinación de pH.

Se determinó por el método electrométrico, mediante el pH-metro digital a 20°C, la medición se hace en una solución filtrada de 10 gr de almidón en 100 ml. de agua destilada.

3.7.3.5.2. Acidez Titulable total.

Se pesó 10 gr del almidón, disolviéndose en 90 ml de agua destilada; después de agitar se completo a 100 ml con la ayuda de una pipeta, para luego filtrar la solución. Se tomó una fracción del filtrado de 15 a 20 ml y se tituló con NaOH al 0.1 N, usando Fenolftaleína como indicador. El resultado es expresado como porcentaje de ácido sulfúrico correspondiente a cada ml de NaOH (0.1 N) a 0.0049 gr de ácido sulfúrico (AOAC, 1960), descrito por Manual de Prácticas de Análisis de los Alimentos, UNSM.

3.7.3.6. Aspecto microscópico y tamaño de partículas

3.7.3.6.1. Aspecto

Se observaron los gránulos de almidón en el microscopio marca Carl Zeiss Jena, LABO VAL 4 - Alemania Occidental, con aumentos totales

de: 400 y 1000X. El almidón se diluyó en agua a una concentración de 0.2%, determinándose la apariencia de los gránulos.

Se procedió a tomar fotografías de los gránulos observados.

3.7.3.6.2. Tamaño y distribución de partículas

Se realizó siguiendo el método de Schoch y Maywald (1965), citado por Loayza, 1981 con algunas modificaciones. La determinación del tamaño de la partícula, se efectuó utilizando el microscopio Carl Zeiss Jena, LABO VAL 4 - Alemania Occidental.

Se preparó una dilución de 0.2% con 24 horas de anticipación con el objeto de realizar una mayor disgregación de los gránulos y facilitar su lectura en el microscopio.

De acuerdo a las instrucciones dadas por Schoch y Waywald (1956), se procedió de la siguiente manera:

- Se calibró el ocular con la reglilla del lente.
- Luego se coloca la muestra en la cámara Newbahner.- Se observó los gránulos y se anotó en forma independiente según abarquen 1,2,3 ó más líneas (1) con la reglilla.
- Se observó la medida del diámetro de 612 gránulos de almidón en su dimensión mayor.
- Con las medidas del diámetro de los gránulos se hicieron las curvas de distribución calculándose el diámetro promedio en base al porcentaje del número de gránulos y en base al porcentaje en peso.

$$\% \text{ peso} = \frac{\% \times (\text{diámetro})^3}{\Sigma [\% \times (\text{diámetro})^3]} \times 100$$

$$\text{Diámetro promedio en peso} = \Sigma (\% \text{ PESO} \times \text{DIAMETRO}) / 100$$

$$\text{Diámetro promedio en número} = \text{promedio ponderado}$$

3.7.3.7. Porcentaje de gránulos dañados

Se utilizó una solución al 0.1 % de rojo congo de acuerdo al método de Schoch y Waywald (1956), citado por Aguirre, 1992; en la cual se hizo la suspensión de los gránulos de almidón. Se apreció que los gránulos normales o intactos no se tiñen con la solución de rojo de congo, a diferencia de los gránulos dañados que sí lo hacen. Se hicieron cuatro lecturas de 100 gránulos, obteniéndose luego un resultado promedio.

3.7.3.8. Solubilidad y poder de hinchamiento

El poder de hinchamiento y las determinaciones de solubilidad fueron llevadas a cabo en el rango de 75 a 90°C. siguiendo el procedimiento modificado de Leach et al (1959), citado por Loayza 1981,(ver Anexo 09).

3.7.3.9. Afinidad al Iodo (IIT)

Bates, French y Rundle (1943) estandarizaron un método potenciométrico para determinar la afinidad del yodo por el almidón y expresaron los resultados como miligramos de yodo combinados, en lugar de

dar un dato de porcentaje de amilosa en el almidón, (Ver Anexo 10), citado por Loayza, 1981 y Aguirre, 1992.

3.7.3.10. Determinación de la temperatura de gelatinización

Para la determinación de la temperatura de gelatinización se colocaron tubos de ensayo con soluciones de almidón al baño maría con temperaturas controladas desde 65°C aumentando en 1°C hasta llegar a los 95°C y se fueron extrayendo las muestras para ser sometidos al microscopio óptico y apreciar la modificación del gránulo.

Para la determinación de la temperatura de gelatinización, la suspensión de almidón fue de 0.2%. La gota de suspensión que se colocó en el porta objetos estuvo rodeada por un anillo continuo de aceite mineral de alta viscosidad y luego cubierta por un cubre objetos, de modo que la gota quedó encerrada completamente entre la barrera de aceite para que no queden burbujas de aire bajo la cubierta de vidrio (Schoch y Maywald, 1956). Se midió la temperatura de inicio, o sea cuando se gelatinizaron los primeros gránulos de almidón, luego cuando se gelatinizaron el 50% de los gránulos y cuando se gelatinizó el 100% de los gránulos.

3.7.3.11. Curva de viscosidad

Para la obtención de las curvas de características reológicas se utilizó el viscosímetro rotacional Visco Star – R, Fungilab S.A.

El procedimiento general se describe a continuación:

Se colocaron 200 ml de las suspensiones de almidón al 5 y 6%, en vasos de precipitación de 250 ml, luego fueron llevados al baño maría con temperatura controlada y se fueron efectuando las lecturas a diferentes temperaturas de 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, buscando el incremento en forma proporcional y uniforme y controlando el tiempo.

Se anotaron los datos de viscosidad dinámica en centipoise y se graficaron versus la temperaturas.

3.7.3.12. Gelificación del almidón (IIT)

Prueba de Schreib para determinar el poder de gelificación de los almidones.

Esta operación se hizo mediante la prueba de Schreib. Que consistió en tomar 4 gr. de almidón, mezclar con 50ml de agua fría en una cápsula de porcelana y calientar hasta ebullición, con agitación constante a la llama de un mechero Bunsen. La ebullición no excedió de un minuto. Cuando la pasta se vuelve transparente y comenzó a burbujear, se retiró la cápsula de la llama y la agitación se continuó. Al alcanzar la temperatura ambiente, la pasta formada quedó consistente y opuso resistencia para caer de la cápsula al ponerla boca abajo, el método fue desarrollado por el Instituto Tecnológico de Colombia y citado por Aguirre, 1992.

3.7.3.13. Control microbiológico

Para analizar la bondad higiénica del proceso de obtención de almidón se realizaron las siguientes determinaciones:

- Numeración de Gérmenes Viables; Se realizó en un medio de cultivo de Agar Plate count. Se incubó de 24 a 48 horas a 37°C.
- Numeración de Hongos y Levaduras; para éste análisis se usó como medio de cultivo Agar OGA y se incubó a 35°C por 72 horas.

3.7.3.14. Análisis Sensorial

* Para seleccionar el mejor método de obtención del almidón de papa aérea se utilizó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), teniendo como bloque a los jueces que evaluaron los atributos de color, olor y textura (finura), mediante la prueba de diferenciación con escala hedónica de cinco puntos, y que éstos resultados se analizaron mediante el Análisis de varianza (ANVA), a un nivel de significancia de 0.05 y las diferencias significativas mediante la prueba de medias de Duncan al mismo nivel de significancia.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. DE LA MATERIA PRIMA

4.1.1. Características Biométricas y Propiedades Físicas

4.1.1.1. Características Biométricas

La materia prima utilizada en el presente trabajo de investigación, fueron bulbos de Papa aérea (*Dioscorea bulbifera L*), las mismas que presentan las siguientes características biométricas como peso, tamaño y forma, los cuales son mostrados en el cuadro 14 como promedio de las medidas de 60 bulbos aéreos.

CUADRO 14: BIOMETRIA DE LOS BULBOS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera L.*)

| PARÁMETRO | VALORES | | | FORMA DE LOS BULBOS |
|--------------|---------|--------|----------|---|
| | MINIMO | MÁXIMO | PROMEDIO | |
| Peso (Gr) | 26.00 | 567.30 | 147.10 | Irregular, Arriñonada, Hepatiforme, Acorazonada y Poliédrica. |
| Tamaño (Cm.) | | | | |
| - Longitud | 5.00 | 16.00 | 9.00 | |
| - Ancho | 3.70 | 12.00 | 6.04 | |
| - Altura | 2.70 | 7.80 | 4.47 | |

Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro se puede apreciar que el peso de los bulbos aéreos estudiados está en un rango muy amplio, pesando desde 26 gr hasta 567.30 gr, con un valor promedio de 147.10 gr; éstos valores se ubican en el rango de peso de 50 a 1000 gr. determinado por ZEVALLOS (1985), para bulbos de la misma especie y también coinciden con el valor descrito por KIBUUKA (1983), que manifiesta que los bulbos llegan a pesar hasta 450 gr. cada uno.

En cuanto a las mediciones de tamaño los valores promedios encontrados fueron de 9 cm de longitud, 6.04 cm de ancho y 4.47 cm de altura, espesor o grosor de los bulbos, dependiendo de la forma que poseen; estos valores son inferiores a los descritos por JUÁREZ (1995), de 8 a 21 cm de ancho y de 5 a 8 cm de altura; pero son similares a los descritos por KIBUUKA (1983), que reporta medidas de 6 a 30 cm de largo por 3 a 12 cm de ancho, con fases curvas, que forman aristas de 5 a 20 cm de largo.

En cuanto a su forma, la gran mayoría presenta forma arriñonada, hepática y poliédrica; lo cual coincide con las descripciones dadas por KIBUUKA (1983) y ZEVALLOS (1985).

4.1.1.2. Color.

Los bulbos aéreos estudiados presentan una coloración característica que no cambia desde que nace el bulbo y se mantiene casi constante hasta su maduración.

Los bulbos presentan un color que va desde beige hasta marrón claro en la parte externa de la cáscara, que es una capa muy delgada y cuando se desprende es muy vidriosa; en lo referente a la estructura interna del cortex presenta un color verde loro (verdoso); estas dos capas comprenden la parte de la cáscara. La pulpa que constituye el parénquima de reserva y la médula central son de textura firme, con presencia de coloración amarillenta sin embargo se puede observar una coloración lila en algunos bulbos.

Se seleccionaron bulbos que completaron su madurez fisiológica en la misma planta, lo cual se determina por el fácil desprendimiento de la planta y la coloración amarillenta en la parte del pedúnculo, esto se produce aproximadamente a los diez meses de instalado el cultivo, las hojas de la planta se ponen amarillas y caen.

4.1.1.3. Densidad

La densidad se determinó en los bulbos frescos, expresándose como densidad aparente, para esto se procedió a pesar los bulbos y se colocaron en una probeta graduada milimétricamente, en donde se registró el volumen de agua desplazado por el peso de los bulbos colocados (Principio de Arquímedes). El valor promedio de esta determinación es de 1.0326 gr/cm^3 .



FIGURA 11: Planta de Papa Aérea “Ñame” o “Cará de Rama”, (*Dioscorea bulbifera L.*), Se aprecia Hojas Simples, Alternas y Opuestas; Tallos Cilíndricos. (Foto: A. Dávila, 1999).



FIGURA 12: Planta de Papa Aérea “Name” o “Cará de Rama” (*Dioscorea bulbifera* L.), planta Tropical de Ciclo Anual, Herbácea, Trepadora, Tallos Cilíndricos, Lisos de 4 – 6 mm de Diámetro, que Arrollan a la Derecha e Izquierda. (Foto: A. Dávila, 1999).

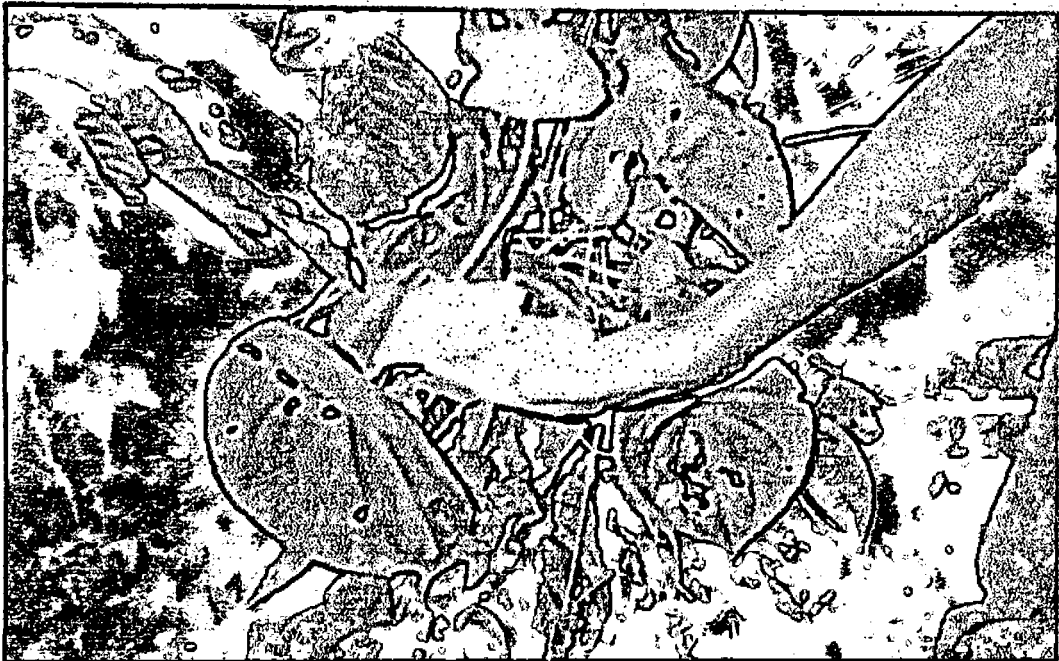


FIGURA 13: Los Frutos son Cápsulas Triloculares de 2 – 5 cm de Largo, con dos Semillas en Cada Lóculo; Nacen en las Axilas de las Hojas, al Inicio son Pequeñas Esferas y Alcanzando la Madurez se Desprenden de la Planta. (Foto: A. Dávila, 1999).



FIGURA 14: Bulbos Aéreos de (*Dioscorea bulbifera* L.), Normalmente Pesan de 500 hasta 2000gr., Poseen Formas Geométricas Irregulares: Reniformes, Hepáticas, Poliédricas; Arriñonadas, Coloración Marrón Claro, Cáscara Fina. (Foto: A. Dávila, 1999).

4.1.2. Análisis Químico Proximal de los Bulbos.

Los resultados del análisis químico proximal de los bulbos de papa aérea (*Dioscorea bulbifera L.*), como promedio de dos determinaciones se presentan en el siguiente Cuadro:

CUADRO 15: ANALISIS QUIMICO PROXIMAL DE LOS BULBOS DE PAPA AÉREA (*Dioscorea bulbifera L.*), CONTENIDO EN 100 gr. DE PARTE COMESTIBLE.

| COMPONENTES | % BASE HUMEDA | % BASE SECA |
|-----------------------|---------------|-------------|
| Humedad | 64.9960 | - |
| Proteínas | 1.3880 | 3.9650 |
| Grasa | 0.3500 | 0.9999 |
| Cenizas | 1.0400 | 2.9710 |
| Fibra | 0.8730 | 2.4940 |
| Carbohidratos totales | 31.3530 | 89.5698 |
| Almidón | 25.6202 | 73.1922 |
| Azúcares reductores | 3.2615 | 9.3175 |
| Otros carbohidratos | 2.4713 | 7.0601 |

FUENTE: Elaboración Propia.

Se observa que las cantidades encontradas tienen mucha similitud con valores reportados por otros investigadores para la misma especie. El contenido de humedad de 64.9960%, muy parecido al encontrado por COLLAZOS (1996) de 64.60% para la sachapapa bulbo aéreo; además es superior al valor encontrado por KIBUUKA (1983), de 63.05%; pero a la vez es inferior al valor de 68.00% encontrado por JUÁREZ.(1995).

La cantidad de proteínas presente en los bulbos frescos de papa aérea fueron de 1.3880%, superior al valor reportado por KIBUUKA (1983), de 1.11%; pero inferior a los valores de 1.55 y 2.30% reportados por JUAREZ (1995) y COLLAZOS (1996), respectivamente.

La presencia de grasa es de 0.35%, cantidad superior al valor de 0.04% reportado por KIBUUKA (1983), y 0.03% reportado por JUAREZ (1995), pero superior al valor de 0.3% reportados por COLLAZOS (1996), en las tablas peruanas de alimentos.

El contenido de cenizas encontrado en los bulbos frescos de papa aérea fueron de 1.04%, cantidad inferior al valor de 1.07% reportado por KIBUUKA (1983), pero superior a los valores de 0.72 y 0.80% reportado por JUÁREZ (1995) y COLLAZOS (1996) respectivamente.

El contenido de fibra alcanzó el 0.8730%, superior al de 0.74% determinado por KIBUUKA (1983), para bulbos aéreos de *Dioscorea bulbífera* L.

El contenido de carbohidratos es del 31.353%, valor ligeramente inferior al encontrado por COLLAZOS (1996), de 32% para la sachapapa bulbo aéreo; así mismo inferior al de 33.99% citado por KIBUUKA (1983), para los bulbos aéreos de *Dioscorea bulbífera* L.

El contenido de azúcares reductores del 3.2615%, es inferior al valor reportado por KIBUUKA (1983), de 6.20%; justificando que esto es consecuencia de la degradación amilolítica del almidón al no ser procesados inmediatamente.

El contenido de almidón de 25.6202%, resulta inferior al valor descrito por KIBUUKA (1983), que reporta 27.75%; para tubérculos de la misma especie *Dioscorea bulbifera L.*, sin embargo comparando con otros tubérculos y raíces apreciamos que este contenido de almidón es similar al descrito por SWINKELS (1997), para la yuca con 66% de humedad 26% de almidón; pero superior al de la papa con 78% de humedad que tiene 17% de almidón.

4.1. DEL PRODUCTO OBTENIDO (ALMIDON)

4.2.1. AISLAMIENTO

Se aisló el almidón a partir de los bulbos frescos de papa aérea (*Dioscorea bulbifera L.*), se obtiene un porcentaje de rendimiento de almidón de 20.47 %, con 13.46% de humedad; que comparado con el almidón inicial presente en los bulbos de 25.6202 %, representa un 79.91 % de porcentaje de extracción.

4.2.2. Composición Químico Proximal del Almidón de Papa Aérea.

Los resultados del análisis químico proximal del almidón de papa aérea (*Dioscorea bulbifera L.*) como promedio de dos determinaciones se detalla en el cuadro 16.

CUADRO 16: COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL DEL ALMIDÓN DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera L.*), CONTENIDO EN 100 Gr. DE ALMIDON.

| COMPONENTES | % BASE HUMEDA | % BASE SECA |
|-----------------------|---------------|-------------|
| Humedad | 13.4600 | - |
| Proteínas | 0.2200 | 0.2542 |
| Grasa | 0.1300 | 0.1502 |
| Cenizas | 0.2140 | 0.2473 |
| Fibra | 0.0580 | 0.0670 |
| Carbohidratos totales | 85.9180 | 99.2813 |
| - Almidón | 85.7884 | 99.1315 |
| - Azúcares reductores | 0.1296 | 0.1498 |

En relación al contenido de humedad podemos apreciar que se obtiene un almidón con 13.46% de humedad; superior al valor especificado por ITINTEC (1974), de 10.5 a 12.5% para el almidón de maíz, dentro de lo establecido para la fécula de papa menor al 20%; pero similar al encontrado por KIBUUKA (1983) de 13.30%; a condiciones normales atmosféricas HR por encima de 65% y temperatura de 20°C, los almidones más comerciales contienen del 10 al 20% de humedad, por lo que se puede ver que el almidón de papa aérea *Dioscorea bulbifera L.* se ubica dentro del rango mencionado. Cuando se compara con algunos almidones comerciales como el almidón de maíz, almidón de trigo, almidón de yuca y almidón de maíz ceroso

almacenados a las mismas condiciones atmosféricas estos registran un 13% de humedad, mientras que el almidón de papa a las mismas condiciones contiene 19% de humedad SWINKELS (1997).

La cantidad de proteína presente en el almidón de papa aérea es de 0.2542 % en base seca, cantidad que resulta por debajo del valor de 0.48% base húmeda y 0.55% base seca encontrado por KIBUUKA (1983); además es superior al valor de 0.16% base seca determinado por GIACOMETTO (1986); el valor encontrado está dentro del límite permitido por ITINTEC (1974), que permite un máximo de 0.45% para almidón de maíz, y de 0.50% para la fécula de papa; comparando con otros almidones comerciales descritos por SWINKELS (1997), está dentro del rango, que varía desde 0.1% para el almidón de yuca y papa; 0.8 % para el almidón de maíz, 0.9% para el almidón de trigo y 0.25% para el almidón de maíz ceroso; llegando hasta un valor máximo de 1.6% para gránulos pequeños del almidón de trigo.

El valor de proteína bruta incluye proteína propiamente dicha, pero además péptidos, amidas, aminoácidos, ácidos nucleicos y enzimas que pueden estar presentes en los gránulos del almidón; la presencia de proteínas residuales en los almidones de cereales como el maíz y el trigo pueden proporcionar un olor y sabor harinoso al almidón y también una tendencia a espumear tal como menciona (SWINKELS, 1997).

En relación con el contenido graso, el almidón en estudio alcanzó un 0.1502 % de grasa en base seca; valor que es igual al encontrado por

GIACOMETTO (1986) 0.15% en base seca; además es superior al valor 0.10% descrito por ITINTEC (1974), para el almidón de maíz y de otros almidones comerciales.

El contenido de cenizas llegó al 0.2473 % en base seca, cantidad que es muy inferior al encontrado por KIBUUKA (1983) de 0.30%; pero cercano al valor 0.33% encontrado por GIACOMETTO (1986); y dentro del valor máximo de 0.50% permitido por ITINTEC (1974), para el almidón de maíz y de fécula de papa.

La cantidad de fibra presente es de 0.067 %, valor muy inferior al de 0.13% reportado por GIACOMETTO (1986), para almidón de papa aérea.

El contenido de almidón es del 99.1315 %, valor que es muy similar al encontrado por GIACOMETTO (1986), de 99.02 % para almidón de bulbos aéreos de cará de rama *Dioscorea bulbifera* L.

Los azúcares reductores expresados como Glucosa presentes en el almidón de papa aérea, fue del 0.1498 % en base seca, resultado similar al descrito por GIACOMETTO (1986), del 0.13 %.

4.2.3. Análisis Físicos – Químicos efectuados en el Almidón de Papa Aérea (*Dioscorea bulbifera* L.)

Los resultados obtenidos de los análisis Físico – Químicos realizados en el almidón de papa aérea se muestran en el cuadro 17.

CUADRO 17: ANALISIS FISICOS QUIMICOS DEL ALMIDON DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera L.*).

| ANALISIS | VALORES |
|--------------------------|---------|
| pH (25°C) | 6.47 |
| Acidez total (%) * | 0.0326 |
| Olor | N |
| NAM | B |
| Color | A |
| Oxalato de Calcio (mg %) | 74.21 |
| Calcio (mg %) | 23.19 |

* Expresado en contenido de Acido Sulfúrico

N : no hay presencia de olores extraños

B : no hay presencia de partículas extrañas o puntitos pardos o negros, almidón sin impurezas.

A : Color característico blanco

La lectura del pH a través del potenciómetro digital resultó 6.47, valor que está dentro del rango de pH de 4.5 – 6.5 establecido por ITINTEC (1974), para almidones de maíz y de 4.5 – 7.3 para la fécula de papa y de otros almidones de uso en la Industria Alimentaria.

El contenido de acidez total expresado en ácido sulfúrico encontrado es de 0,0326%, valor que se encuentra dentro del rango de acidez permitido para los harineros y almidoneros, que es de 0.1 a 1.0 % , por lo tanto el valor encontrado está por debajo del límite permisible.

Con respecto a las características sensoriales se puede precisar que no se detectó olores extraños que puedan diferenciar al almidón en estudio, por esto se le clasifica como "N", según la Norma ITINTEC (1974), (Ver Anexo 01).

El término NAM, significa material no amiláceo, en otras palabras sustancias extrañas que no forman parte del contenido amiláceo del almidón y que pueden estar presentes en el mismo; para determinar el contenido no amiláceo (NAM), se colocó una cantidad de almidón sobre una hoja de papel en blanco y se procedió a extender o esparcir uniformemente el almidón ayudado por una lámina porta objeto, al observar con detenimiento no se encontró ningún tipo de partículas o puntitos pardos o negros, entonces se concluye que el almidón no contiene impurezas por lo que se le calificó como "B", según ITINTEC 1974.

El almidón de papa aérea presentó un color blanco, por lo tanto se ubica en el calificativo "A", que se otorga a los almidones con el color característico blanco, según la descripción de las Normas Técnicas del (ITINTEC, 1974).

En cuanto a la presencia de minerales, los valores encontrados para el calcio de 23.19mg/100gr, resulta bajo y se ubica dentro del rango del contenido de Calcio presentado por COLLAZOS (1996), para algunos cereales y sus derivados.

El contenido de Oxalato de Calcio, llegó a 74.21mg/100gr. de almidón, valor que es muy bajo y no representa mayor dificultad debido a que es soluble en agua en un 50 a 75% y además pueden ser eliminados fácilmente mediante la deshidratación y la cocción tal como manifiesta (WANASUNDERA, 1994).

4.2.4.1. Aspecto Microscópico y Tamaño de Partículas

4.2.4.1. Aspecto microscópico

Los granos de almidón, se observó utilizando el microscopio CARL - ZEISS JENA LABO VAL 4 con cámara incorporada con luz normal y un aumento de 400X, se mostró con claridad el aspecto de los gránulos, apreciándose la presencia de algunas estrías en el almidón de papa aérea, además se observó cierta similitud con los gránulos del almidón de papa, en cambio los almidones de maíz y yuca presentan un hilo central en forma de cruz que es notorio en la mayoría de gránulos.

Los gránulos de almidón de la papa aérea presentan formas geométricas distintas, pero se observó que la gran mayoría presenta formas triangulares

con puntas redondas u ovaladas, además se apreció gránulos alargados y redondos, éstas formas coinciden con la descripción de gránulos en forma triangular y hexagonal realizada por KIBUUKA, además con GIACOMETTO (1986), que reporta forma triangular con puntas para los gránulos de almidón de papa aérea *Dioscorea bulbifera* L. Estas formas también coinciden con gránulos de almidón de otras especies del género *Dioscorea* como: *Dioscorea alata* que presenta gránulos redondos triangulares y *Dioscorea cinnamomifolia* que presenta gránulos largos, triangulares, redondos y ovalados parecido a conchas ROSENTHAL (1972).

Al compararle con otros almidones comerciales el tipo de gránulo del almidón de papa aérea se diferencia muy fácilmente por la forma triangular con puntas ovaladas de sus gránulos en comparación con el almidón de papa que tiene gránulos en forma oval, esférica; el almidón de maíz con gránulos redondos, poligonales; el almidón de trigo que presenta dos tipos de gránulos: los pequeños de forma esférica (redondos) y los grandes de forma lenticelar, el almidón de yuca presenta gránulos en forma oval, truncadas SWINKELS (1997), y CHARLEY (1991). El almidón de papa aérea *Dioscorea bulbifera* L. tiene cierta similitud con el almidón de papa, tanto por el tamaño como por la forma ovalada de sus gránulos.

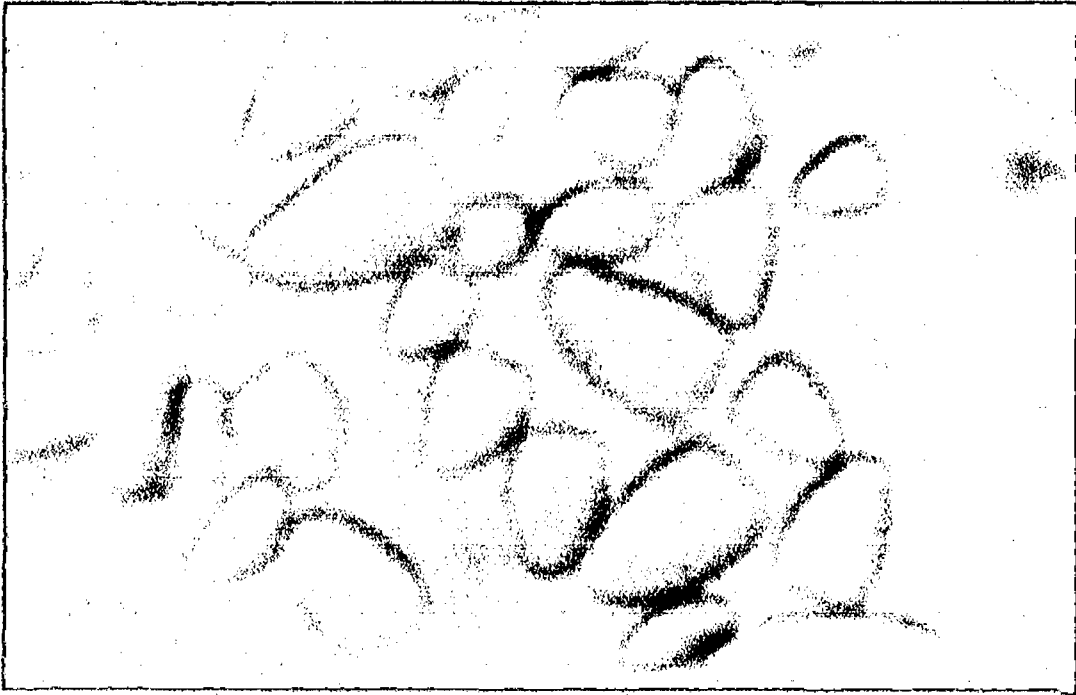


FIGURA 15 a.



FIGURA 15 (a, b): Fotografía al Microscopio Optico de Granos de Almidón de Papa Aérea (*Dioscorea bulbifera L.*), con Aumento de 400X, Observe la forma de los Granos. (Foto: A. Dávila, 1999).

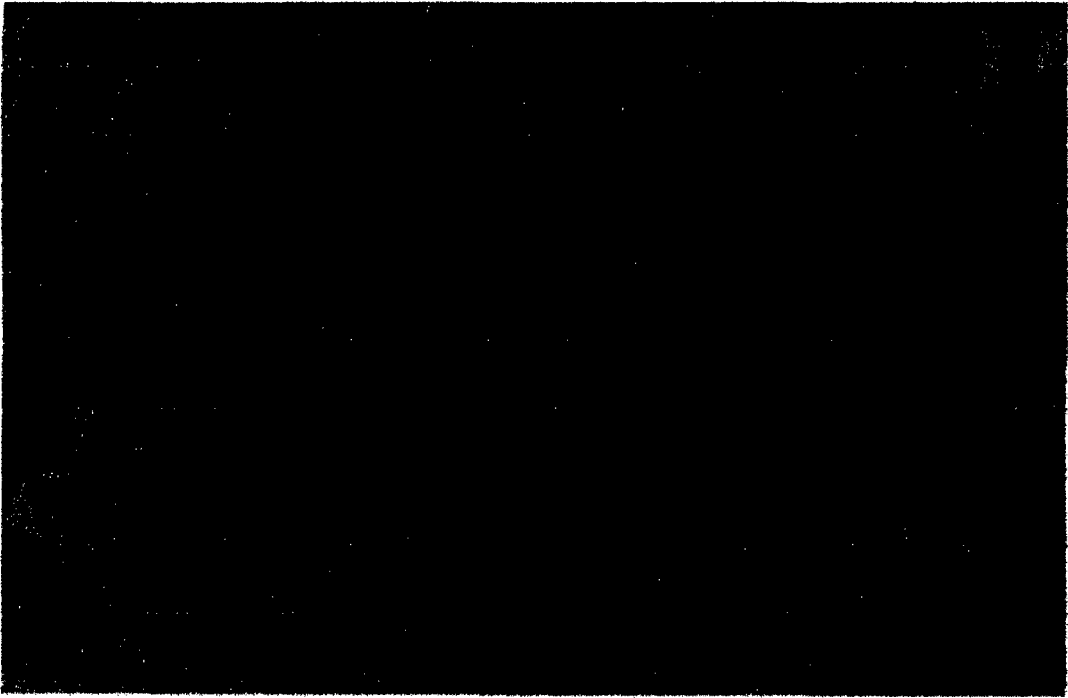


FIGURA 16a



FIGURA 16(a,b): Fotografía al Microscopio Optico de Gránulos de Almidón de Papa Aérea (*Dioscorea bulbifera L.*), con un Aumento de 1000X. (Foto: A. Dávila, 1999).

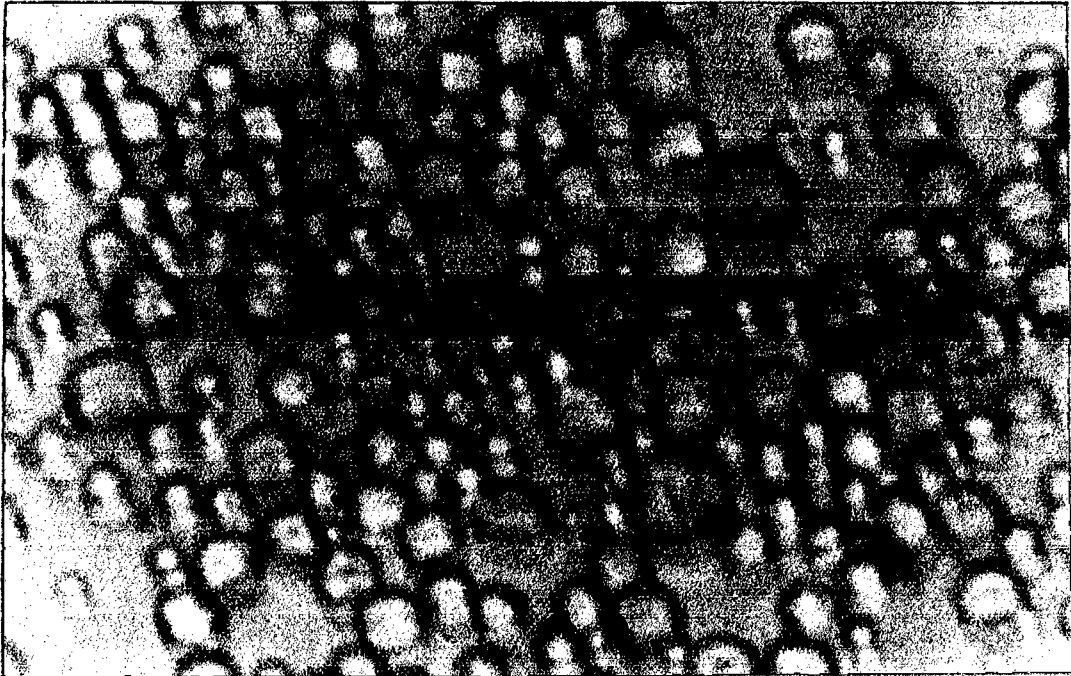


FIGURA 17a: Fotografía al Microscopio Óptico de Granos de Almidón de Yuca (*Manihot esculenta* C), con un aumento de 400X. (Foto: A. Dávila, 1999).



FIGURA 17b: Fotografía al Microscopio Óptico de Granos de Almidón de Papa (*Solanum tuberosum*), con un aumento de 1000X. (Foto: A. Dávila, 1999).

4.2.4.2. Tamaño y Distribución de Partículas

El tamaño de los gránulos del almidón de papa aérea, oscila en el rango de 8 a 75 μm , de largo, llegando algunos gránulos a superar las 75 μm . Estos valores encontrados son muy similares a los reportados por KIBUUKA (1983), que varían de 15 a 70 μm ; así mismo son superiores a los valores reportados por MONTALDO (1991), entre 5 a 45 μm , para almidón de *Dioscorea bulbifera* L. Por otra parte ROSENTHAL (1972), reporta valores para algunos almidones procedentes de bulbos del género *Dioscorea* entre ellos *Dioscorea alata* (cará) entre 7 a 26.5 μm y para *Dioscorea cinnamomifolia* entre 33 a 70 μm .

La medida de tamaño de 612 gránulos de almidón se aprecia en el cuadro 18.

CUADRO 18: DISTRIBUCION DE LOS GRANULOS DE ALMIDON DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.), SEGUN DIVERSOS TAMAÑOS.

| TAMAÑO DE LOS GRANULOS (μm) | VALOR PROMEDIO | NÚMERO DE GRANULOS | PORCENTAJE DE PRESENCIA | OBSERVACIONES |
|--|----------------|--------------------|-------------------------|---------------|
| 8 – 20 | 16 | 110 | 17.97 | Pequeños |
| 21 – 36 | 32 | 278 | 45.42 | Medianos |
| 37 – 50 | 48 | 167 | 27.29 | Grandes |
| 51 – 75 | 56 | 57 | 9.31 | Muy grandes |

FUENTE: Elaboración Propia

De acuerdo al rango de valores encontrados para el almidón de papa aérea de 8 a 75 μm , se consideró que tiene un gránulo grande parecido en tamaño a los gránulos del almidón de papa de 5 a 100 μm ; pero muy superiores a los demás almidones comerciales que presentan gránulos medianos y pequeños como el gránulo del almidón de maíz entre 2 a 30 μm , los gránulos del almidón de trigo: los pequeños de 2 a 10 μm y los grandes de 20 a 45 μm , el gránulo del almidón de yuca de 5 a 35 μm (SWINKELS (1997) y CHARLEY, 1991).

Debido a su gran tamaño los gránulos del almidón de papa aérea son muy fáciles de observar a través del microscopio óptico, pero el rango muy amplio de sus medidas dificulta la determinación del tamaño promedio de los gránulos.

Determinación del Tamaño y Distribución de Partículas

Los resultados obtenidos para determinar el tamaño de partículas utilizando las fórmulas de la sección de Materiales y Métodos (3.4.3.6.2.), se aprecian en el cuadro 19.

CUADRO 19: DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTICULA DEL ALMIDON DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera L.*)

| NUMERO DE DIVISIONES | NUMERO DE GRANULOS | PORCENTAJE DE PRESENCIA (%) NUMERO | DIAMETRO PROMEDIO (Ø) (en µm) | DIAMETRO PROMEDIO AL CUBO (Ø) ³ | % PRESENCIA x DIAMETRO PROMEDIO AL CUBO % x (Ø) ³ | PORCENTAJE EN PESO % PESO | PORCENTAJE EN PESO X DIAMETRO PROMEDIO % PESO x (Ø) |
|----------------------|--------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---|---|------------------------------|--|
| 1 | 110 | 17.97 | 16.00 | 4096 | 73620.9150 | 1.1845 | 18.9515 |
| 2 | 278 | 45.42 | 32.00 | 32768 | 1488481.0458 | 23.9478 | 766.3288 |
| 3 | 167 | 27.29 | 48.00 | 110592 | 3017788.2353 | 48.5524 | 2330.5148 |
| 4 | 57 | 9.31 | 56.00 | 175616 | 1635639.2157 | 26.3154 | 1473.6604 |
| TOTAL | 612 | 100 | | 323072 | 6215529.4118 | | 4589.4555 |

FUENTE: Elaboración propia.

TAMAÑO DEL DIAMETRO PROMEDIO EN PESO

$$\text{Ø Promedio En Peso} = \Sigma(\% \text{ Peso} \times \text{Ø}) / 100$$

$$\text{Ø Promedio En Peso} = \Sigma(18.9515 + 766.3288 + 2330.5148 + 1473.6604) / 100$$

$$\text{Ø Promedio En Peso} = 4589.4555 / 100$$

$$\text{Ø Promedio En Peso} = 45.89 \text{ } \mu\text{m}$$

TAMAÑO DEL DIAMETRO PROMEDIO EN NUMERO

$$\text{Ø Promedio En Número} = \text{Promedio Ponderado}$$

$$\text{Ø Promedio En Número} = \Sigma(\text{Número de gránulos} \times \text{Diámetro}) / \text{Total}$$

$$\text{Ø Promedio En Número} = \Sigma(110 \times 16 + 278 \times 32 + 167 \times 48 + 57 \times 56) / 612$$

$$\text{Ø Promedio En Número} = 21864.00 / 612$$

$$\text{Ø Promedio En Número} = 35.73 \text{ } \mu\text{m}$$

En el cuadro 19 se observa que un porcentaje del 17.97 % lo representan los gránulos que miden entre 8 a 20 μm , que se clasifican como gránulos pequeños, por encontrarse en el rango de tamaño con los gránulos pequeños del almidón de trigo de 2 a 10 μm . La mayor concentración o incidencia del tamaño de los gránulos está entre 21 a 40 μm , que representa el 45.42 % del total de gránulos medidos, que se clasifican como gránulos medianos y cuyo rango coincide con el tamaño de gránulos de otros almidones comerciales como el almidón de yuca de 5 a 35 μm y maíz de 2 a 30 μm , considerados como gránulos de mediano tamaño. Los gránulos cuyo rango varían entre 41 a 50 μm y que representan el 27.29 %, se clasifican como gránulos grandes y aquellos que varían por encima de los 51 μm , los clasificamos como gránulos muy grandes; parecidos en tamaño a los gránulos

del almidón de papa que están entre los 5 a 100 μm , CHARLEY (1991) y SWINKELS (1997).

Del cuadro también se determina que el tamaño del diámetro promedio en base al número para el almidón de papa aérea *Dioscorea bulbifera* L. es de 35.73 μm , el mismo que se ubica en el rango de mayor incidencia de 21 a 40 μm ; esta cantidad es superior a los valores reportados para almidones comerciales como: almidón de papa 28 μm , almidón de maíz 10 μm , almidón de trigo 8 μm , almidón de yuca 15 μm , almidón de maíz ceroso 15 μm , (SWINKELS, 1997).

En cuanto al tamaño del diámetro promedio en base al peso para el almidón de papa aérea *Dioscorea bulbifera* L. es de 45.89 μm , cantidad que resulta superior a los valores reportados para algunos almidones comerciales como: almidón de papa 40 μm , almidón de maíz 15 μm , almidón de trigo 25 μm , almidón de yuca 25 μm , almidón de maíz ceroso 15 μm , SWINKELS (1997); lo que demuestra que los gránulos de papa aérea son de un mayor tamaño tanto en diámetro promedio en número como en diámetro promedio en peso.

Para mejor visualización de estos resultados se graficaron los valores obtenidos de Tamaño promedio en micras vs el Porcentaje de Distribución tanto en base al Número como al Peso; estos se muestran en las figuras 17 y 18 respectivamente.

FIGURA 18: CURVA DE DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE GRANULOS DE ALMIDON DE PAPA AEREA EN BASE AL NUMERO

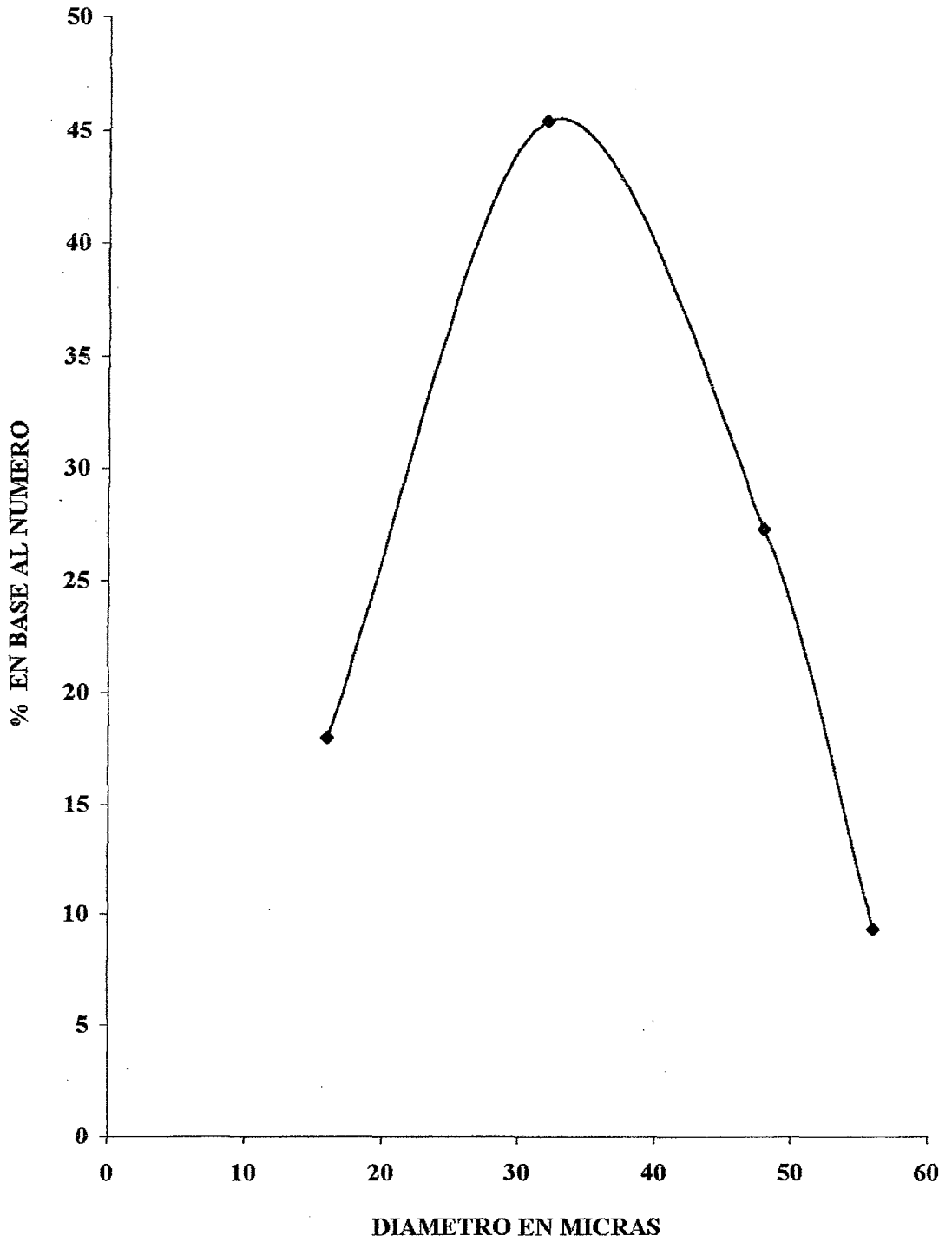
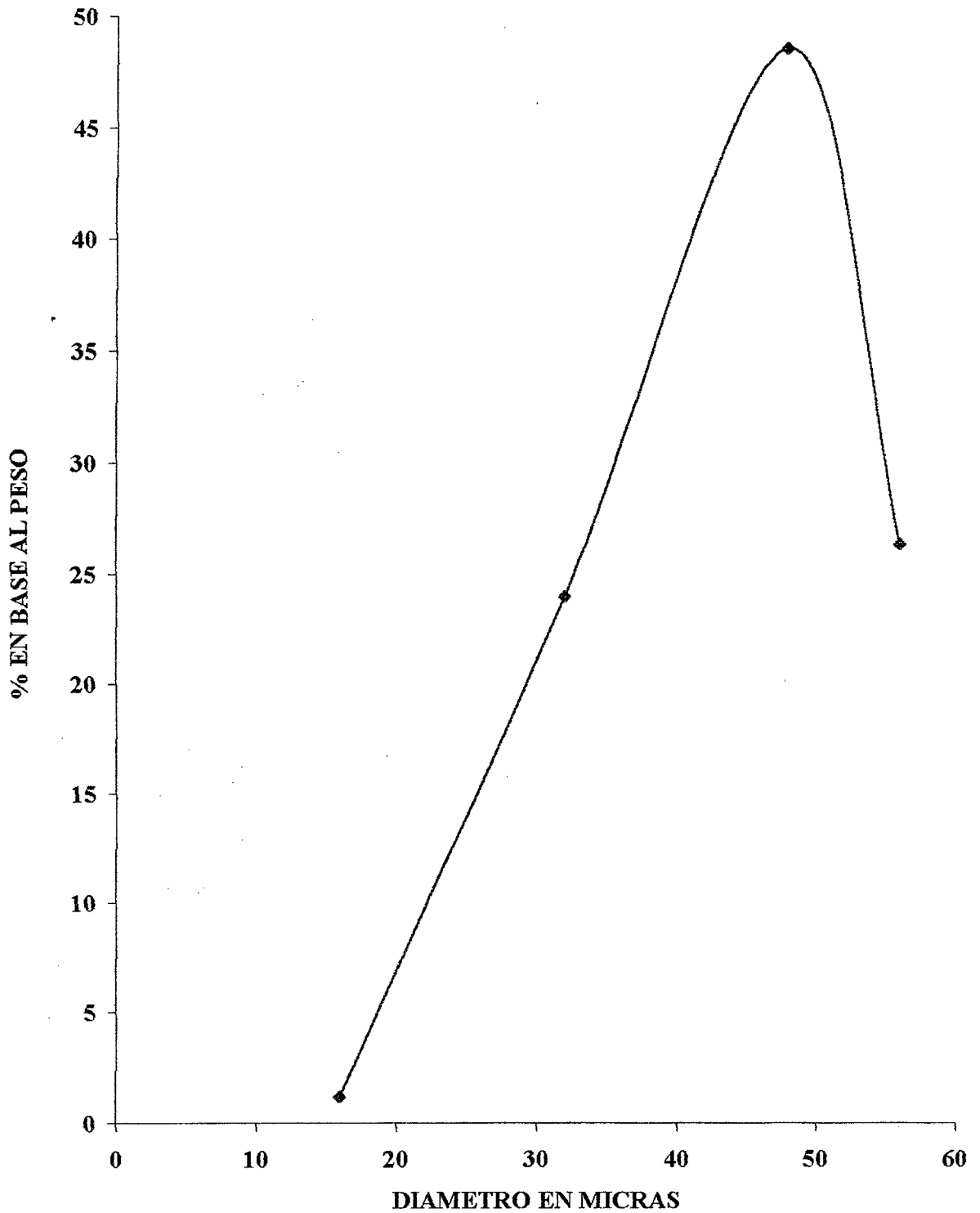


FIGURA 19: CURVA DE DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE GRANULOS DE ALMIDON DE PAPA AEREA EN BASE AL PESO



4.2.5. Porcentaje de Gránulos Dañados

El porcentaje de gránulos dañados encontrados en el presente trabajo de investigación fue de 0.486% considerado un valor bastante prudente, que demuestra que el método de extracción practicado a nivel de laboratorio fue bueno porque permitió tener gránulos intactos y se produjeron muy pocas roturas de los gránulos a pesar de tener un gran tamaño.

CUADRO 20: CUADRO DE LAS LECTURAS DE GRANULOS DAÑADOS

| NUMERO DE LECTURAS | NUMERO DE GRANULOS DAÑADOS | NUMERO DE GRANULOS CONTADOS |
|--------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 1 | 1 | 186 |
| 2 | 1 | 151 |
| 3 | - | 147 |
| 4 | 1 | 138 |
| TOTAL | 3 | 617 |

PORCENTAJE DE GRANULOS DAÑADOS = $3 / 617 = 0.486 \%$

4.2.6. Solubilidad y Poder de Hinchamiento

El porcentaje de solubilidad del almidón de papa aérea se muestra en el cuadro 21 y la figura 20, donde se apreció un comportamiento que varía desde los 70 a 80°C en forma muy acelerada y ascendente, pasando del 6 % de solubilidad al 13.52%, prácticamente a esta temperatura alcanza el 56.26% del porcentaje total de solubilidad, posteriormente al elevar la temperatura hasta los 95°C el porcentaje de solubilidad aumenta lentamente y en menor

proporción, alcanzando el máximo valor de 24.03 % a la temperatura de 95°C; este valor es similar a los encontrados por ROSENTHAL (1972), para bulbos del género *Dioscorea*, especies *Dioscorea alata* (cará) de 28% y de *Dioscorea cinnamomifolia* de 26%.

Al comparar el porcentaje de solubilidad de algunos almidones comerciales mencionado por SWINKELS (1997), a la temperatura de 95°C, el almidón de papa posee el porcentaje más alto de solubilidad del 82%; el almidón de yuca le sigue con un 48%; el almidón de trigo con un 41%; el almidón de maíz con un 25% y el almidón de maíz ceroso reporta el porcentaje más bajo con un 23%. El porcentaje de solubilidad del almidón de papa aérea *Dioscorea bulbifera* L. del 24.03% resulta muy parecido al valor alcanzado por el almidón del maíz de 25% a la misma temperatura de 95°C, que en algunos casos no es suficiente para alcanzar la solubilidad total de los almidones.

El poder de hinchamiento, expansión o levantamiento de volumen, del almidón de papa aérea (*Dioscorea bulbifera* L.), se muestra en el cuadro 21 y figura 21, donde se aprecia que se produce en dos etapas; desde los 70 a los 80°C, la curva tiene una pendiente muy elevada los valores van desde 7.50 hasta 19.53 que representa un 78.03% del valor total del poder de hinchamiento; a partir de esta temperatura en la segunda etapa la curva disminuye su poder de elevación o hinchamiento y la pendiente disminuye hasta alcanzar el máximo valor del poder de hinchamiento de 25.03 a la temperatura de 95°C; este valor encontrado es inferior a los valores

encontrados por ROSENTHAL (1972), para especies del mismo género como: *Dioscorea alata* 48 y *Dioscorea cinnamomifolia* de 31, sin embargo GIACOMETTO (1986), reporta un poder de hinchamiento de 24 a la temperatura de 95°C, para almidones de cará de rama *Dioscorea bulbifera* L., valor que resulta similar al encontrado en este estudio.

Si se compara con el poder de hinchamiento de algunos almidones comerciales como el almidón de papa 1153, almidón de yuca 71, almidón de maíz ceroso 64, almidón de maíz 24, y el almidón de trigo 21, el almidón de papa aérea *Dioscorea bulbifera* L., presenta un valor muy similar al almidón de maíz común y está dentro de los valores mas bajos registrados. Esto demuestra también que no necesariamente el porcentaje de solubilidad varía directamente con el poder de hinchamiento. El almidón de papa experimenta una rápida y excepcional hinchazón a temperaturas relativamente bajas, lo que indica la presencia de enlaces internos débiles, debido a la presencia de grupos de ésteres de fosfatos ionizables que ayudan el aumento de volumen por el motivo de la repulsión eléctrica mutua.

El almidón de papa aérea *Dioscorea bulbifera* L. tiene un comportamiento parecido al almidón de maíz, que muestra una lenta propiedad de aumento de volumen o poder de hinchamiento, producido en dos etapas. Esto hace pensar de que al igual que el almidón de maíz, el almidón de papa aérea presenta dos juegos de enlaces de desigual fuerza dentro del gránulo, el punto de inflexión más débil a los 75°C, el más fuerte a los 85°C. Los compuestos lípido - amilosa en el almidón de maíz inhiben al gránulo de

almidón para que este se infle o hinche. El almidón de maíz ceroso sin lípidos infla más libre y uniformemente, que el almidón de maíz común, ya que el almidón de maíz ceroso, no contiene ninguna fracción de amilosa – lípido para reforzar la red molecular dentro del gránulo. El elevado contenido de grasa y de amilosa presente en el almidón de papa aérea, no permiten tener un mayor aumento del poder de hinchamiento de los gránulos.

En el cuadro 21 se presenta los valores del porcentaje de solubilidad y poder de hinchamiento, para el almidón de papa aérea como promedio de dos determinaciones realizadas.

CUADRO 21: VALORES PROMEDIOS DEL PORCENTAJE DE SOLUBILIDAD Y EL PODER DE HINCHAMIENTO DEL ALMIDON DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera L.*)

| TEMPERATURA (°C) | PORCENTAJE DE SOLUBILIDAD (%) | PODER DE HINCHAMIENTO |
|------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 70 | 6.00 | 7.50 |
| 75 | 13.52 | 14.50 |
| 80 | 17.07 | 19.53 |
| 85 | 20.05 | 22.09 |
| 90 | 22.11 | 23.51 |
| 95 | 24.03 | 25.03 |

FUENTE: Elaboración propia.

FIGURA 20: CAMBIOS DE LA SOLUBILIDAD DEL ALMIDON DE PAPA AEREA CON LA TEMPERATURA

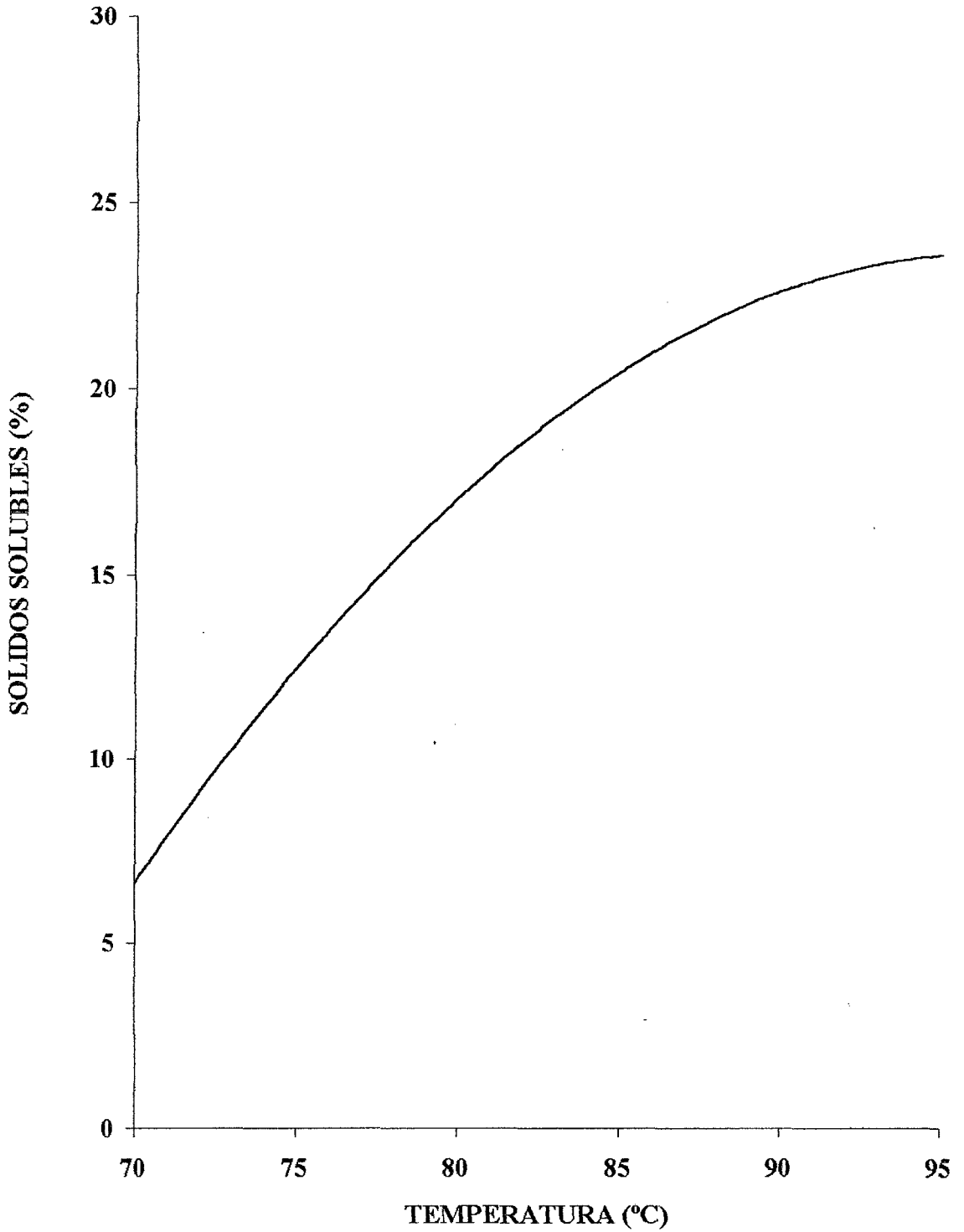
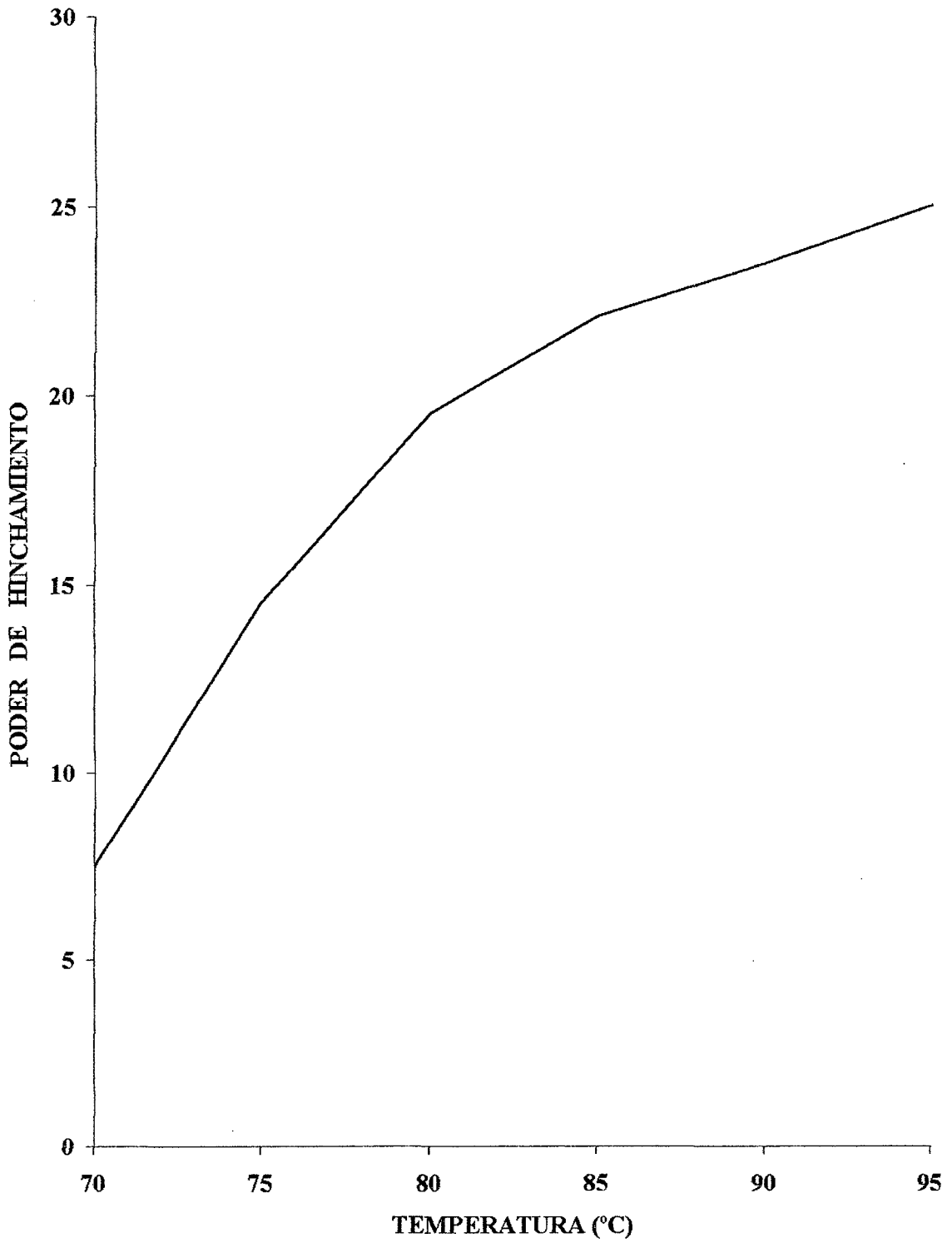


FIGURA 21: CAMBIOS DEL PODER DE HINCHAMIENTO DEL ALMIDON DE PAPA AEREA CON LA TEMPERATURA



4.2.7. Afinidad al Yodo.

La titulación protenciométrica con una solución patrón de yodo 0.20mg/ml, nos permitió obtener los resultados que se aprecian en el cuadro 22, con cuyos valores se construye el gráfico de la figura 22; luego se intersectó los puntos de inflexión de la curva y se proyectó la recta perpendicular al eje de las ordenadas; llegando a determinar el valor de absorción de 4.53 mg de yodo por 100 mg de almidón, que se presenta en el cuadro 23 y que representa el 4.53%, cantidad similar a los encontrados por ROSENTHAL (1972), para otras especies del mismo género como: *Dioscorea alata* (cará) 4.50% y *Dioscorea cinnamomifolia* 4.73% respectivamente.

Bates et al. (1943), citado por LOAYZA (1981); considera que la fracción A (amilosa hipotéticamente pura), tiene una capacidad de unión al yodo del 20%. Pero la afinidad al yodo depende no sólo del origen de la fracción amilosa, sino también de la longitud de la cadena e irregularidad de la unión.

Para conocer el contenido de amilosa del almidón de Papa Aérea mediante los valores de afinidad al Yodo, establecemos la siguiente relación: el maíz, absorbe 5.08 mg de Yodo/100 gr de almidón, AGUIRRE, (1992), que equivale al 25% de amilosa; mediante una regla de tres simple calculamos para el almidón de papa aérea con 4.53 mg de Yodo/100gr de almidón y obtenemos un valor de 22.29% de amilosa, similar a los reportados por GIACOMETTO (1986) del 22.57%; e inferior al encontrado por KIBUUKA

(1983), del 24.35% de amilosa, para el almidón de papa aérea (*Dioscorea bulbifera L.*). Esta forma de calcular el contenido de amilosa no es la correcta, debe realizarse mediante la curva patrón de amilosa.

Por eso Bates et al. (1943), citado por LOAYZA (1981); recomiendan, que los resultados de la titulación potenciométrica se expresen como miligramos de yodo combinados, en lugar de dar un dato de porcentaje de amilosa, debido a que cada almidón tiene un poder de unión con el yodo diferente, así lo consideramos en el presente trabajo, ver cuadro 23.

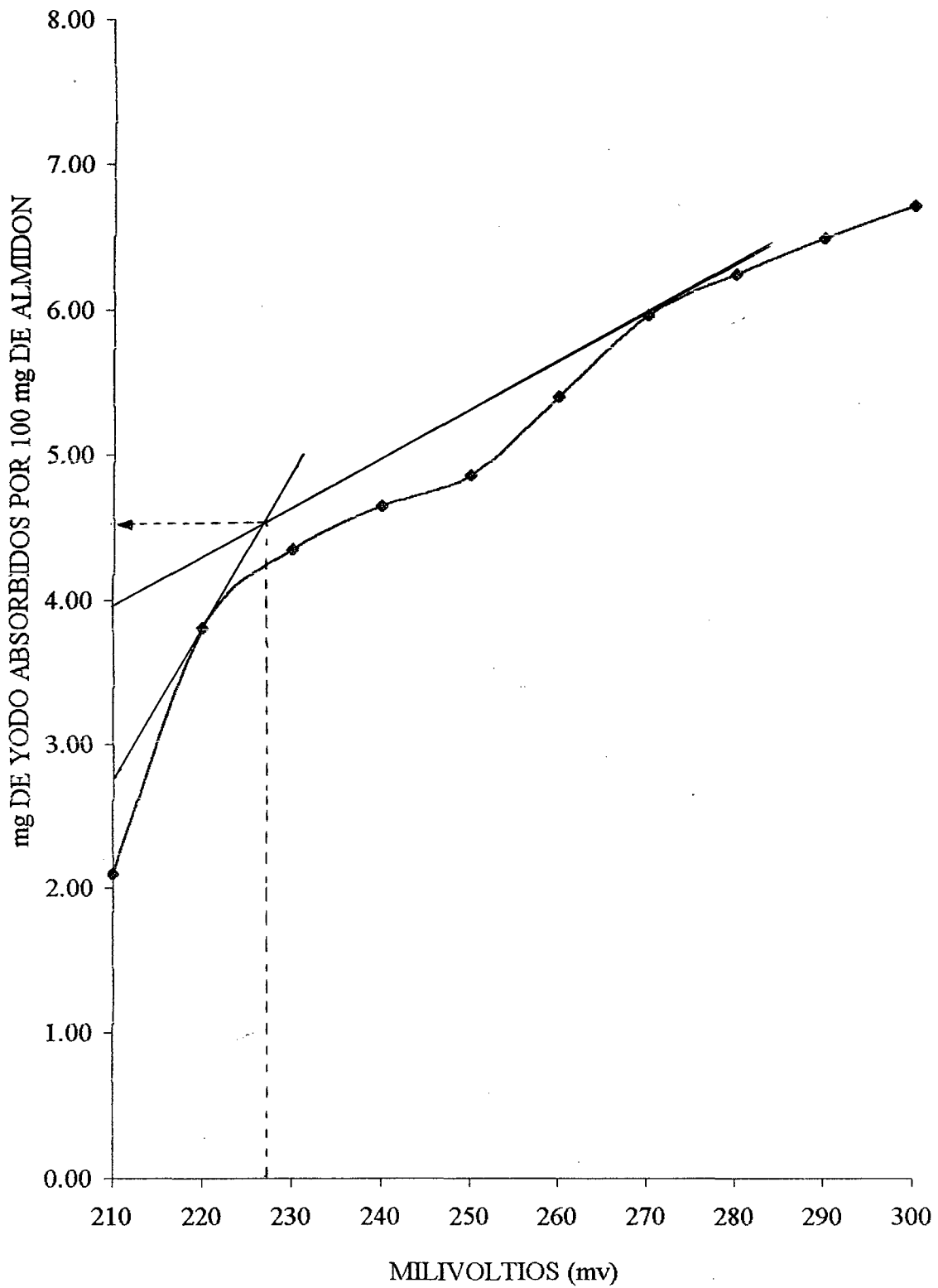
CUADRO 22: MILIGRAMOS DE YODO COMBINADOS CON 100 mg. DE ALMIDON DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera L.*).

| LECTURA EN MILIVOLTIOS (mv) | (mg). YODO ADSORBIDOS POR 100 mg DE ALMIDON. |
|-----------------------------|--|
| 210 | 2.10 |
| 220 | 3.80 |
| 230 | 4.35 |
| 240 | 4.65 |
| 250 | 4.86 |
| 260 | 5.40 |
| 270 | 5.96 |
| 280 | 6.25 |
| 290 | 6.50 |
| 300 | 6.72 |

CUADRO 23: AFINIDAD AL YODO DEL ALMIDÓN DE PAPA AÉREA (*Dioscorea bulbifera L.*).

| MUESTRA | HUMEDAD (%) | AFINIDAD AL YODO (% B.S) | AFINIDAD AL YODO (% B.H.) |
|-----------------------|-------------|--------------------------|---------------------------|
| Almidón de papa aérea | 13.00 | 3.94 | 4.53 |

FIGURA 22. ADSORCION DEL YODO POR EL ALMIDON DE PAPA AEREA



4.2.8. Determinación de la temperatura de Gelatinización

La temperatura de gelatinización del almidón de papa aérea se presenta en el cuadro 24, como promedio de tres determinaciones.

CUADRO 24: TEMPERATURAS DE GELATINIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE PAPA AÉREA (*Dioscorea bulbifera* L.).

| AVANCE DE LA GELATINIZACION | TEMPERATURA (°C) |
|-----------------------------|--------------------|
| INICIO | 72 |
| MEDIO | 80 |
| FINAL | 95 |

No se puede hablar de una temperatura determinada de gelatinización de los almidones, se tiene que hablar de un rango de temperaturas en el cual se produce la gelatinización de los gránulos grandes y pequeños; para el caso del almidón de papa aérea los gránulos grandes empezaron a gelatinizarse a la temperatura de 72°C, que marca el inicio de la gelatinización, el punto medio se ubica a los 80°C y punto final a los 95°C, estos valores son parecidos a los descritos por otros investigadores, GIACOMETTO (1986) encontró un rango de 72.5 a 78.50°C; KIBUUKA (1983) un rango de 77 a 95°C, para almidón de papa aérea *Dioscorea bulbifera*, por otro lado ROSENTHAL (1972) encontró los rangos de temperatura de 68.00 a 74.50°C para *Dioscorea alata* y de 60.00 a 66.50°C para *Dioscorea cinnamomifolia*

Se aprecia que, entre la temperatura de inicio y final de gelatinización, hay una diferencia de 23°C, esto debido a que existen gránulos pequeños y grandes dentro del almidón y no todos los gránulos se hinchan y gelatinizan

al mismo tiempo y temperatura, debido a que algunos son mas resistentes y por lo tanto requieren de más temperatura que otros; por lo general de 10°C más. Además los gránulos de mayor tamaño tienen una temperatura de gelatinización más bajo, esto se puede ver al comparar los valores encontrados por SWINKELS (1997), para almidones comerciales, el almidón de papa que tiene gránulos grandes tiene temperaturas de gelificación de 60 a 65°C, el almidón de maíz que tiene gránulos medianos temperaturas de 75 – 80°C y para el almidón de trigo que tiene gránulos pequeños temperaturas 80 a 85°C; la gelatinización es completa en la mayoría de almidones a una temperatura no mayor a 95°C, CHARLEY (1991); debido a que los almidones de distintos orígenes muestran distintos márgenes de gelificación, esta propiedad es útil para identificarlos. Por la influencia de otros factores, los valores de gelificación no indican exactamente la temperatura a la que los almidones gelifican en los sistemas alimentarios (FENNEMA, 1982).

La temperatura de gelatinización representa la forma como se ordenan las moléculas en el gránulo de almidón, una temperatura más alta de gelatinización, podrá indicar un alto grado de asociación de los gránulos. El almidón de papa aérea *Dioscorea bulbifera L.* a pesar de tener gránulos grandes no empieza a gelatinizar a temperaturas bajas, lo cual nos demuestra que se necesita de una mayor energía de atracción entre las moléculas de agua y de almidón para iniciar el proceso de gelatinización, a partir de los 72°C, se comienza a registrar el inicio de la gelatinización, al ocurrir esto la suspensión lechosa inicial se hace menos opaca y mas translúcida y los granos hinchados pierden su birrefringencia e inician el espesamiento del líquido. El punto final de la gelatinización se aprecia a los 95°C, donde toda la

solución se empasta y se aprecia una solución traslúcida y uniforme, el índice de translucidez se debe a que el índice de refracción de los gránulos hinchados se acerca del agua.

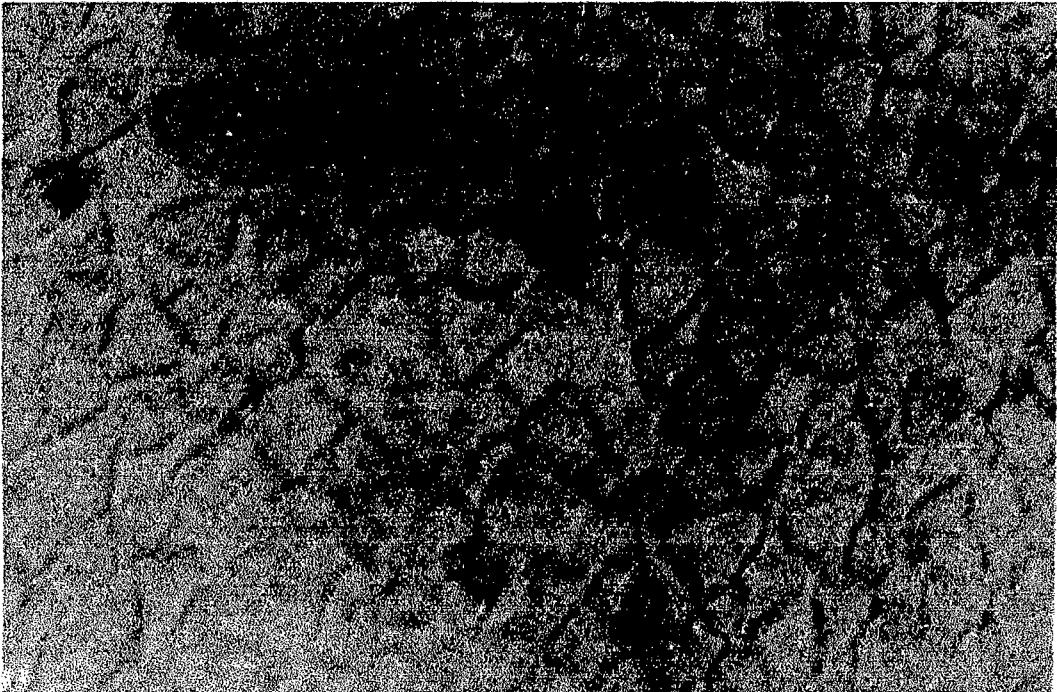
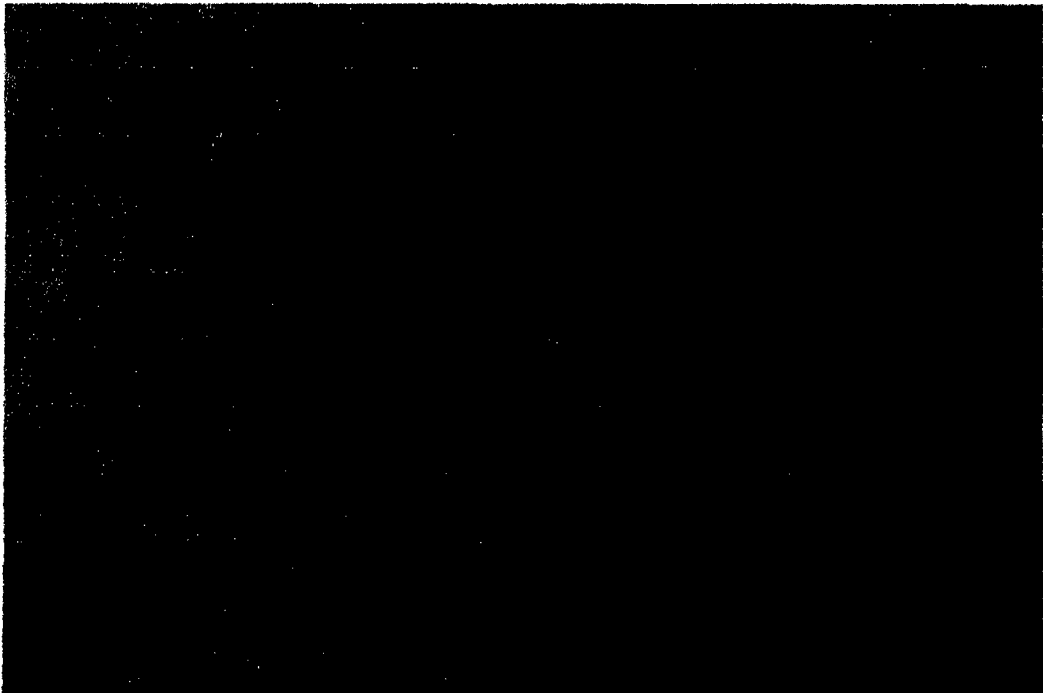


FIGURA 23: Fotografía al Microscopio Optico de Granos de Almidón de Papa Aérea (*Dioscorea bulbifera L.*), Pregelatinizado a la Temperatura de 75°C, Con un Aumento Total de 100X. Observe el Aumento del Volumen de los Granos por la Captación de Agua. (Foto: A. Dávila, 1999).



FIGURA 24 a



FIGURAS 24 (a, b) : Fotografía al Microscopio Optico de Granos de Almidón de Papa Aérea (*Dioscorea bulbifera L.*), Gelatinizado a la Temperatura de 95°C, Con un Aumento Total de 400X. Observe que el Grano Pierde su Forma y Presenta un Aumento Considerable de Tamaño, el Grano Pierde su Birrefringencia. La Pasta se Vuelve más Clara. (Foto: A. Dávila, 1999).

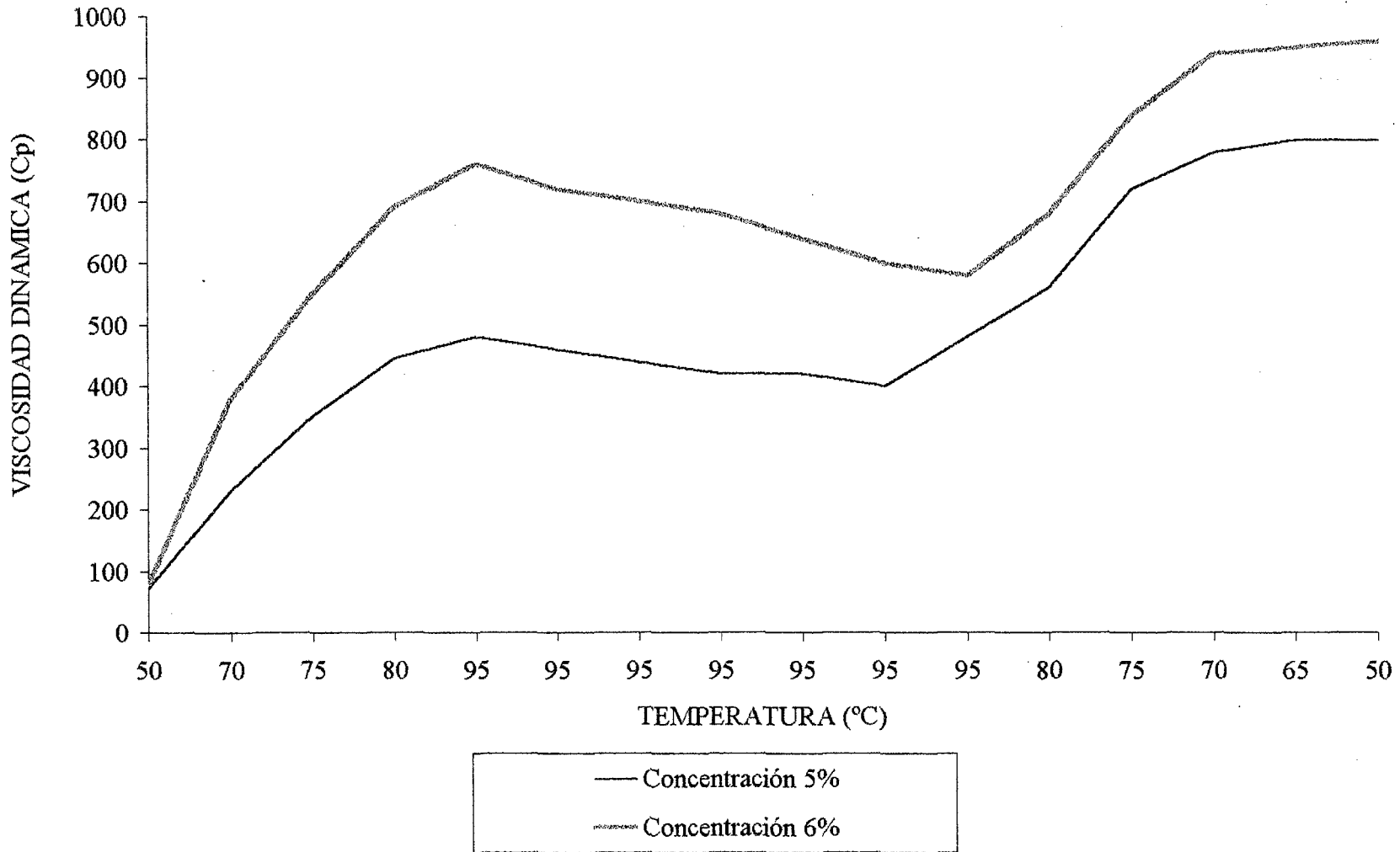
4.2.9. Curva de Viscosidad

Las lecturas obtenidas en el viscosímetro rotacional para soluciones de almidón de 5 y 6%, se aprecian en el cuadro 25 y figura 25.

CUADRO 25: LECTURAS DE LOS CAMBIOS DE VISCOSIDAD EN FUNCION AL TIEMPO Y TEMPERATURA

| TIEMPO (min) | TEMPERATURA (°C) | LECTURA DE VISCOSIDAD (Cp) | |
|-------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|
| | | Solución de almidón al 5% | Solución de almidón al 6% |
| 20 | 50 | 71 | 78 |
| 30 | 70 | 230 | 380 |
| 40 | 75 | 352 | 550 |
| 50 | 80 | 445 | 690 |
| 60 | 85 | 480 | 760 |
| 70 | 90 | 460 | 720 |
| 80 | 95 | 440 | 700 |
| 90 | 95 | 420 | 680 |
| 100 | 95 | 420 | 640 |
| 110 | 95 | 400 | 600 |
| 120 | 95 | 480 | 580 |
| 130 | 95 | 560 | 680 |
| 140 | 80 | 720 | 840 |
| 150 | 75 | 780 | 940 |
| 160 | 70 | 800 | 950 |
| 170 | 65 | 800 | 960 |

FIGURA 25: CURVA DE VISCOSIDAD DEL ALMIDON DE PAPA AEREA EN FUNCION DE LA TEMPERATURA



El comportamiento de la curva de viscosidad de la pasta de almidón de papa aérea *Dioscorea bulbifera* L. se muestra en la figura 25 y es similar a las curvas de almidones de cereales: maíz y trigo; notándose con mucha claridad las tres etapas bien marcadas en el proceso de gelificación de los almidones. Se trabajó con soluciones de almidón de papa aérea a concentraciones del 5 y 6 %, utilizando el viscosímetro rotacional a velocidad de 100 rpm, observándose que el almidón de papa aérea comienza a incrementar su viscosidad a partir de los 75°C que se puede considerar como temperatura inicial de gelatinización, se produce un considerable aumento de volumen del gránulo antes de empezar a gelatinizarse, como la temperatura de la solución de almidón se va incrementando, va aumentando la viscosidad de la pasta del almidón. Este proceso continúa hasta alcanzar el pico de viscosidad a la temperatura de 95°C con una viscosidad de 480 Centipoise (Cp), para una solución de almidón del 5% y una viscosidad de 760 Centipoise (Cp) para una solución de almidón del 6%, el pico de viscosidad es el valor de viscosidad más alta que se encuentra durante la preparación de la pasta de almidón, el pico de viscosidad es una medida del poder "Espesador" de un almidón; ésta primera etapa se denomina empaste y se caracteriza por el incremento acelerado de la viscosidad, existe un alto grado de absorción de agua que hace que las dispersiones de almidón alcancen grandes viscosidades sin embargo el espesamiento es incompleto y la viscosidad máxima se consigue con un calentamiento adicional.

La segunda etapa se denomina aclarado mecánico, que se produce cuando se sigue calentando la muestra y se mantiene a la temperatura de 95°C

por 60 minutos, agitándose y registrándose la viscosidad continuamente, se observa que la viscosidad permanece casi constante, reflejando la estabilidad del grano hinchado al ser sometido al tratamiento térmico y la desintegración mecánica. Después de tener la pasta a 95°C por espacio de 60 min (1 hora), se registra una viscosidad de 460 Centipoise (Cp), para la solución de almidón del 5% y una viscosidad de 580 Centipoise (Cp) para una solución de almidón del 6%, a mayor cocción y agitado a temperaturas elevadas, se deshidratan las fuentes cohesivas en los gránulos hinchados excesivamente y la estructura de la pasta colapsa; para que no exista mucha disminución de la viscosidad no se debe agitar exageradamente y tampoco se debe bombear las pastas calientes por tuberías.

La tercera etapa denominada vuelta a endurecer, se produce durante el enfriamiento hasta 50°C, la viscosidad de la pasta aumenta gradualmente y va adquiriendo dureza y se vuelve más opaca, este aumento de viscosidad durante el enfriamiento es una medida de la retrogradación que se produce en la pasta (retroceso) debido a la asociación de moléculas de amilosa; la pasta alcanza una viscosidad de 800 Centipoise (Cp), para la solución de almidón del 5% y una viscosidad de 960 Centipoise (Cp) para la solución de almidón del 6%, luego del enfriamiento la pasta pierde su claridad y se vuelve más opaca.

El instrumento más apropiado para determinar la curva de viscosidad es el Visco amilógrafo Brabender, aparato que mide la viscosidad del almidón

cuando se calienta con un incremento de temperatura uniforme de 1.5°C/min y luego enfriados a la misma proporción.

Una característica importante que sirve como base para admitir que las suspensiones finales de almidón están clasificados dentro de los fluidos no Newtonianos del tipo Seudoplásticos, es que son soluciones de alto peso molecular o sustancias derritidas, en donde los sólidos atrapan una considerable cantidad de agua y el esfuerzo de corte, provoca una disminución de la viscosidad, la misma que puede ser influenciada por muchos factores tales como la forma y disposición de las moléculas, concentración, temperatura, formación de la micella, etc.

4.2.10. Gelificación del Almidón

Para esto se utilizó la prueba de Screib, donde al realizar el calentamiento por 1 minuto a la llama de un mechero de Bunsen, de la solución de almidón (8 %) depositada en un crisol, se apreció que se forma una buena pasta, transparente y consistente que cuando se hace girar la cápsula de porcelana se mantiene adherida al recipiente y no se deja caer, lo que nos indica que existe una buena consistencia o gelificación del almidón.

4.2.11. Análisis Microbiológico

Los resultados del análisis microbiológico practicado al almidón de Papa aérea (*Dioscorea bulbifera L.*), nos indica que la muestra de almidón

estudiado reporta valores por debajo de los límites establecidos por normas técnicas, lo cual demuestra que las condiciones de higiene y limpieza con que se trabajó en la obtención del almidón no permite la contaminación por microorganismos, además el almidón no es sustrato adecuado para el desarrollo de los microorganismos por tener baja actividad de agua.

CUADRO 26: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS PRACTICADOS AL ALMIDÓN DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L).

| TIPO DE ANÁLISIS | NUMERO DE COLONIAS EN LA MUESTRA | ESTÁNDAR DE CALIDAD (*) |
|----------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| - N° de Gérmenes | | |
| Viabiles Totales | 2.15×10^3 | 10^5 |
| - Numeración de Mohos | 2.5×10^2 | 10^3 |
| - Numeración de Levaduras. | 0 | 0 |

(*) Instituto Nacional del Perú, 1972; citado por LOAYZA, 1981)

FUENTE: *Elaboración propia.*

4.2.12. Análisis Sensorial

Los resultados promedios obtenidos de la evaluación sensorial realizados con jueces semientrenados se muestra en el cuadro 27, obteniéndose los mejores promedios para el tratamiento A4, relación materia prima / agua de (1:8).

CUADRO 27: PROMEDIOS DE LA PRUEBA DE DIFERENCIA DE LAS MUESTRAS DE ALMIDON DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera L.*), SOMETIDOS A DIFERENTES RELACIONES MATERIA PRIMA / AGUA.

| CARACTERÍSTICAS | MUESTRAS DE ALMIDONES | | | |
|------------------|---------------------------------|---------|---------|---------|
| | RELACIONES MATERIA PRIMA / AGUA | | | |
| | A1(1:5) | A2(1:6) | A3(1:7) | A4(1:8) |
| COLOR | 3.4 | 3.6 | 4.0 | 4.3 |
| OLOR | 2.9 | 3.5 | 3.4 | 3.6 |
| TEXTURA (Finura) | 3.7 | 3.5 | 3.8 | 4.1 |

Los resultados de la prueba de diferencia de las muestras de almidón sometidos a diferentes relaciones entre materia prima y agua se observan en el cuadro 27, cuyo promedio de las características de color, olor y textura (finura) evaluados para el atributo color, sitúan al tratamiento A4 (1:8 relación materia prima/agua) como el mejor tratamiento, con un puntaje promedio de 4.1, correspondiendo a un calificativo de muy bueno; en cuanto al atributo olor destaca el tratamiento A4 (1:8 relación materia prima/agua) con un puntaje promedio de 3.6, correspondiendo a un calificativo de muy bueno; en cuanto a la textura(finura) el tratamiento A4 (1:8 relación materia prima/agua) con un puntaje promedio de 4.1, correspondiendo a un calificativo de muy bueno; (los cálculos se presentan en el Anexo 03).

Para elegir el mejor tratamiento se realizó el Análisis de Varianza (ANVA), según el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), los mismos que se muestran en el cuadro 28.

CUADRO 28: ANVA PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE COLOR, OLOR Y TEXTURA DEL ALMIDON DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera L.*), SOMETIDOS A DIFERENTES RELACIONES DE MATERIA PRIMA / AGUA.

| CARACTERISTICAS | F.V. | G.L. | S.C. | C.M. | Fc | Ft |
|-----------------|--------------|------|--------|-------|-------|-----------|
| COLOR | Tratamientos | 3 | 4.875 | 1.625 | 4.944 | 2.96 * |
| | Panelistas | 9 | 6.025 | 0.669 | 2.037 | 2.25 N.S. |
| | Error | 27 | 8.875 | 0.329 | | |
| | Total | 39 | 19.775 | | | |
| OLOR | Tratamientos | 3 | 2.900 | 0.967 | 3.035 | 2.96 * |
| | Panelistas | 9 | 5.600 | 0.622 | 1.953 | 2.25 N.S. |
| | Error | 27 | 8.600 | 0.319 | | |
| | Total | 39 | 17.100 | | | |
| TEXTURA | Tratamientos | 3 | 1.875 | 0.625 | 2.647 | 2.96 N.S. |
| | Panelistas | 9 | 2.735 | 0.303 | 1.282 | 2.25 N.S. |
| | Error | 27 | 6.375 | 0.236 | | |
| | Total | 39 | 10.975 | | | |

En los resultados del ANVA del cuadro anterior, se observa que para los atributos color y olor los tratamientos reportan diferencia estadística significativa al nivel de 0.05 de probabilidad, sin embargo para el atributo textura no existe diferencia significativa entre los tratamientos utilizados en la obtención.

Para comprobar estas diferencias estadísticas se sometieron los resultados a la prueba de Medias de Duncan al 5% de probabilidad que se aprecia en el cuadro 29. Respecto al color se encontró que son iguales las muestras A4, A3 y A2 pero diferentes a la muestra A1 cuya relación materia prima / agua es de (1:5). En cuanto al olor se encontró que las muestras A4, A2 y A3, son iguales pero diferentes a la muestra A1; al mismo tiempo la muestra A3 y A1 son iguales y no presentan diferencia estadística significativa.

CUADRO 29: PRUEBA DE DUNCAN AL 5% PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE COLOR Y OLOR DEL ALMIDON DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera L.*), SOMETIDOS A DIFERENTES RELACIONES DE MATERIA PRIMA / AGUA.

| CARACTERISTICA | TRATAMIENTO M.P / AGUA | PROMEDIO ORDENADO | SIGNIFICANCIA |
|----------------|------------------------|-------------------|---------------|
| COLOR | A4(1:8) | 4.3 a | |
| | A3(1:7) | 4.0 a | |
| | A2(1:6) | 3.6 a | |
| | A1(1:5) | 3.4 b | |
| OLOR | A4(1:8) | 3.6 a | |
| | A2(1:6) | 3.5 a | |
| | A3(1:7) | 3.4 ab | |
| | A1(1:5) | 2.9 b | |

4.3. DIAGRAMA DE FLUJO DEFINITIVO PARA LA OBTENCIÓN DEL ALMIDON DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera, L.*)

En el Diagrama de Flujo de la figura 26 se plantea las operaciones seguidas para la obtención del almidón de Papa Aérea.

FIGURA 26 : DIAGRAMA DE FLUJO OPTIMO PARA LA OBTENCIÓN DE ALMIDON DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera L.*).

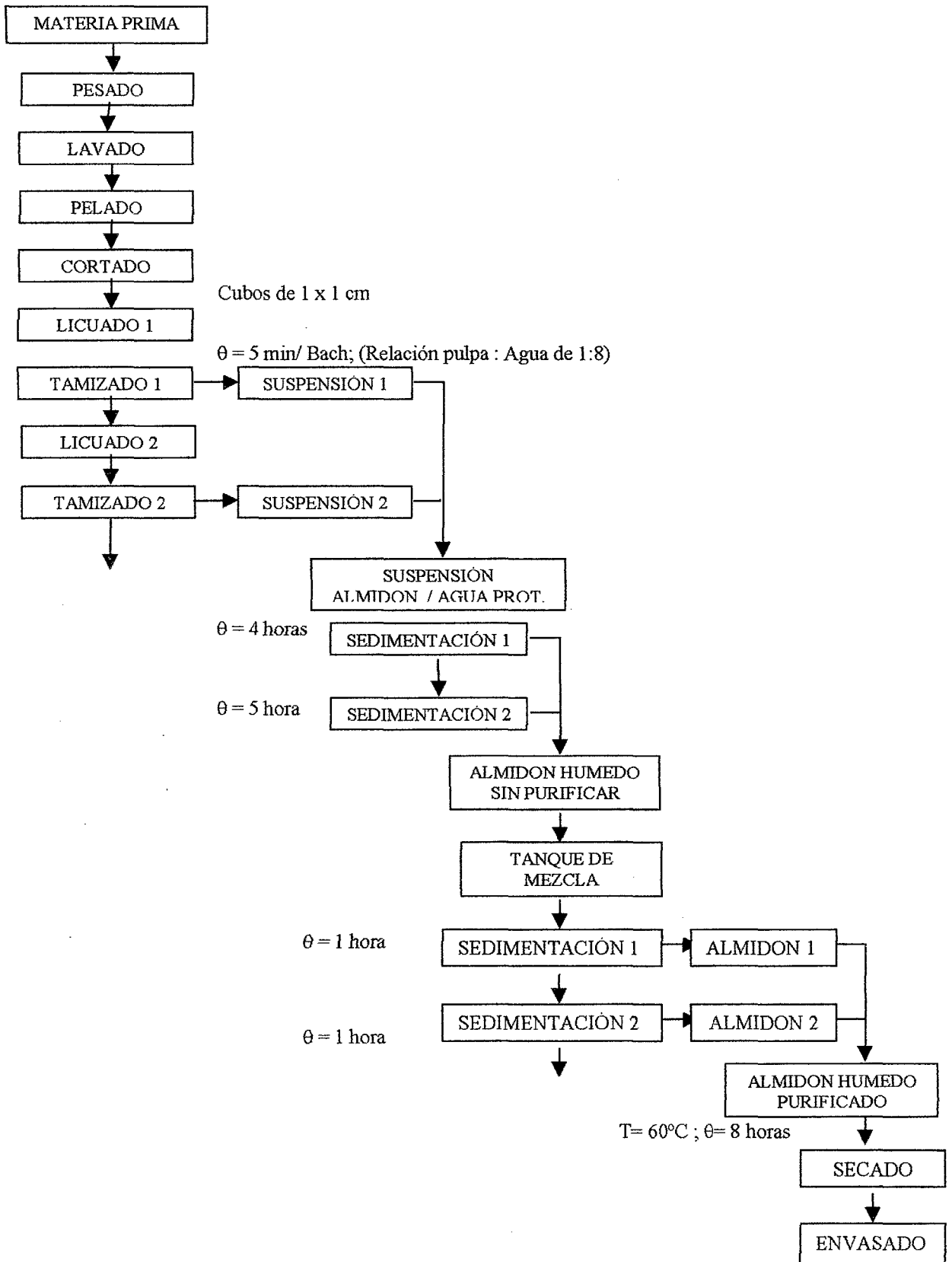
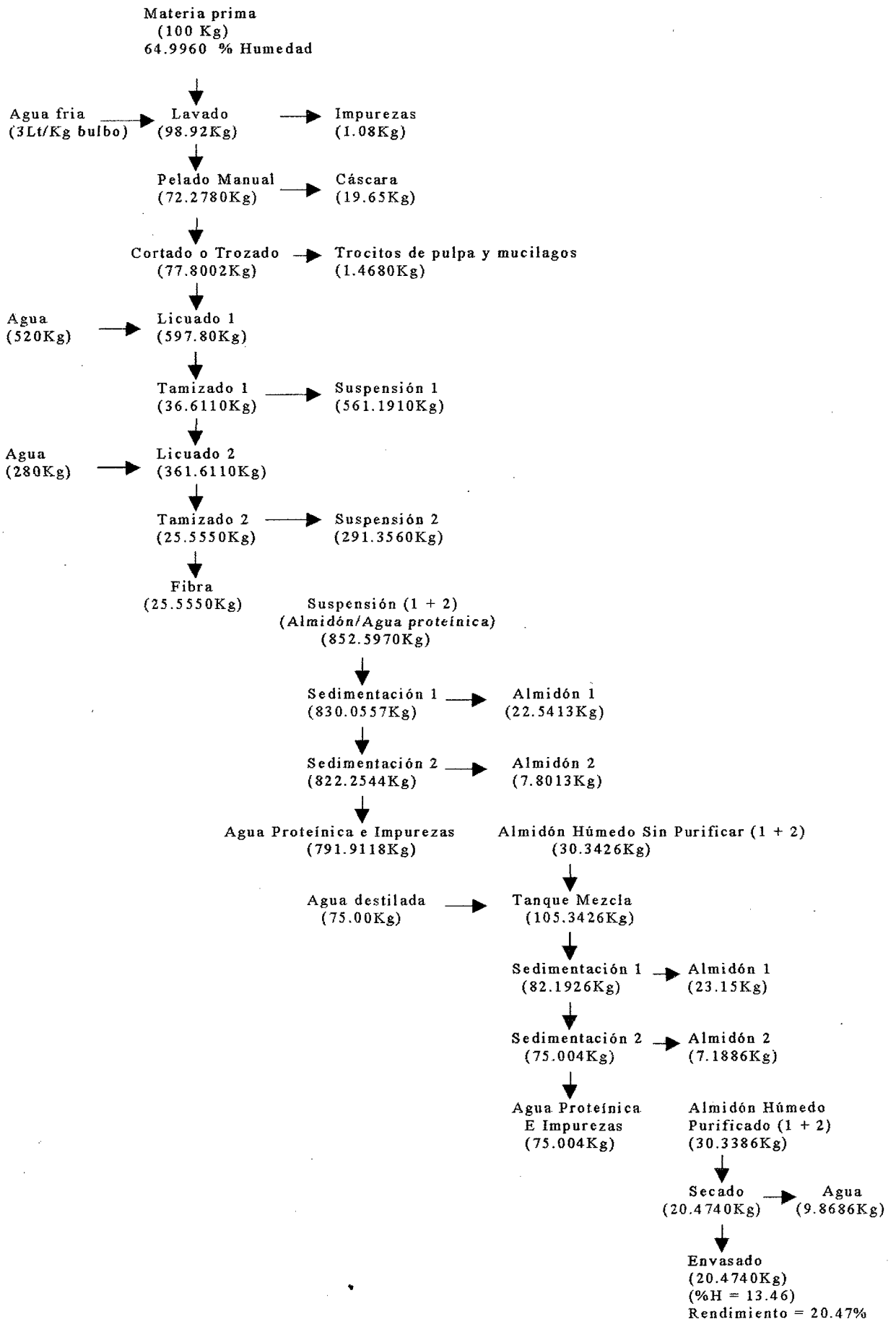


Figura 27: Balance de masa en la Obtención de Almidón de Papa Aérea (*Dioscorea bulbifera* L.)



V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se arribó a las siguientes conclusiones:

1. Para obtener almidón a partir de los bulbos de papa aérea (*Dioscorea bulbifera* L.), se desarrolló el siguiente flujo de procesamiento: Materia prima → selección → lavado → pelado manual → cortado o trozado → licuado → tamizado → sedimentado → secado → envasado y almacenado, obteniendo un porcentaje de rendimiento del 20.47 % y bajo porcentaje de gránulos dañados del 0.468 %.
2. La composición porcentual en base seca del almidón de papa aérea (*Dioscorea bulbifera* L.), fue la siguiente: proteínas 0.2542%, grasa 0.1502%, cenizas 0.2473%, fibra 0.067% y carbohidratos totales 99.2813%, de los cuales el almidón representa el 99.1315% y los azúcares reductores el 0.1498%. El almidón contiene 13.36% de humedad, los gránulos del almidón de papa aérea (*Dioscorea bulbifera* L.), son de forma triangular con puntas redondas y ovaladas, además algunos son alargados y redondos. Su tamaño varía desde 8 a 75 μm de largo, obteniéndose un diámetro promedio en base al número de 35.73 μm y un diámetro promedio en base al peso de 45.89 μm . Presenta bajo porcentaje solubilidad de 24.03% y poder de

hinchamiento de 25.03 a 95°C de temperatura, valor parecido al almidón de maíz. La temperatura de gelatinización, se encuentra en el rango de 72 a 95°C.

3. El almidón de papa aérea (*Dioscorea bulbifera L.*), alcanza la viscosidad máxima a la temperatura de 95°C con una lectura de 480 centipoise para una solución al 5% y de 760 centipoise para una solución al 6%. La afinidad al yodo fue de 4.53%, lo que indica que el almidón posee un elevado porcentaje de amilosa.

4. El análisis microbiológico del almidón de papa aérea (*Dioscorea bulbifera L.*), demuestra que el almidón obtenido cumple con las condiciones sanitarias en cuanto a presencia de microorganismos y es bueno para el consumo humano, lo que indica que las condiciones de trabajo desarrollados para la obtención del almidón fueron buenas. El mejor tratamiento en la obtención del almidón fue el A4 relación materia prima / agua de (1:8). La calidad sensorial (color, olor y textura) es similar a los almidones de tipo comercial.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar investigaciones de tipo agronómico sobre el cultivo de papa aérea (*Dioscorea bulbifera L*), con el fin de obtener información sobre el manejo de plantaciones con fines industriales y de orientar la producción para la obtención de almidones y productos derivados.
2. Debido a la presencia de gran cantidad de material mucilaginoso en la cáscara y la pulpa se recomienda realizar estudios sobre sus características y posibilidades de uso.
3. Realizar el estudio del comportamiento reológico de las pastas del almidón, a fin de determinar el índice de consistencia y el índice reológico para establecer el tipo de fluido al que pertenece.
4. Efectuar trabajos de investigación sobre la obtención y caracterización de los almidones de otras variedades de sachapapas existentes en la región a fin de establecer comparaciones y buscar mayores usos.

5. Realizar estudios comparativos del comportamiento del almidón de papa aérea (*Dioscorea bulbifera* L.) en la preparación de alimentos y compararlos con otros almidones comerciales actualmente usados.

6. Realizar estudios más detallados sobre la producción de almidones modificados a partir del almidón de papa aérea (*Dioscorea bulbifera* L), para diversificar la forma de usarlos.

7. Continuar con estudios tendientes a incorporar los bulbos, tubérculos y raíces tropicales existentes en la región, al gran número de plantas tropicales con potencialidades de industrialización.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **AGBOR, T. ; 1995. Evaluation of the Chemical Composition of
Cameroonian Yam Germoplasm. Journal of Food
Composition and Analysis. Yaunde-Cameroon. 8(3): 274 – 283.**
2. **AGUIRRE, E.B.; 1992. Obtención de Jarabe de Glucosa por via
Enzimática a Partir de Almidón de Umari (Poraqueiba
seriaceae Tulasne). Tesis M.sc. Tecnología de Alimentos.
Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú. 93 Págs.**
3. **A.O.A.C.; 1970. Official Methods of Analysis. Association of
Official Agriculture Chemists. 11ava. Edition. U.S.A**
4. **BADUI, S.; 1981. Química de los Alimentos. Edición. Editorial
Alhambra. Mexico.**
5. **BAGUAR, S.; 1977. Mineral Constituents of Nigerian Yams.
Nutrition reports International. Ife – Nigueria. 15(3):265-272.**
6. **BRAVERMAN, J.B.S. 1980. Introducción a la Bioquímica de
los Alimentos. Tercera edición, Ediciones OMEGA S.A.,
Casanova, 220 Barcelona – España. 355 págs.**
7. **BELITZ, H.D.; 1988. Química de los Alimentos. Editorial Acribia
S.A. Zaragoza - España.**

8. **COLLAZOS, et al; 1996. Tablas Peruanas de Composición de Alimentos. 7ma Edición. Ministerio de Salud. Lima – Perú. 86 Págs.**
9. **COULTATE, T.P.; 1984. Alimentos Química de sus Componentes. Editorial Acribia S.A. Zaragoza – España. 199 Págs.**
10. **CHARLEY, H.; 1991. Tecnología de Alimentos: Procesos Químicos y Físicos en la Preparación de Alimentos. Editorial LIMUSA. México. 2da Edición, 767 Págs.**
11. **CHEFTEL, C.; 1992. Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos. Vol I. Editorial Acribia. Zaragoza – España. Págs.**
12. **CHEFTEL, C.; 1992. Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos. Vol II. Editorial Acribia. Zaragoza – España. 404 Págs.**
13. **DESROSIER, N.; 1993. Conservación de Alimentos. 2da. Edición. C.E.C.S.A. de C.V. México. 901 Págs**
14. **EVANS, C.; 1995. Farmacognoscia. 13 Ava Edición. Iiteramericana – Mc Graw Hill. México. 901 Págs.**

15. **FABOYA, O.O.; 1981. The Fatty Acid Composition of Some Tubers Grown in Nigeria. Food Chemistry. Ibadan – Nigeria.**
16. **F.A.O.; 1990. Utilización de Alimentos Tropicales: Raíces y Tubérculos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma – Italia. 66 Págs.**
17. **FELLOWS, P.; 1994. Tecnología del Procesado de los Alimentos: Principios y Prácticas. Editorial Acribia. Zaragoza - España. 549 Págs.**
18. **FENNEMA, O.R.; 1982. Introducción a la Ciencia de los Alimentos. Editorial Reverté S.A. España.**
19. **FRANCIS, B.; 1975. Yams as a source of Edible Protein. Tropical Science. London – U.K. 17(2): 103-110.**
20. **FRANCO, G.; 1992. Tabela de Composicao Química dos Alimentos. 9na Edición. Editorial Atheneu. Sao Paulo – Brasil.**
21. **GRACE, M.R; 1977. Elaboración de la Yuca. Editorial FAO, Roma – Italia.**
22. **GIACOMETTO, P.A.; 1986. A Farinha de Cará – de – Rama (Dioscorea bulbífera L.): I. Producao e Composicao Química. Arq.Biol.Tecnol. Curitiba – Brazil. 29(4):651 – 660.**

23.; 1987. **A Farinha de Cará – de – Rama (Dioscorea bulbífera L.): II. Propiedades de los Gránulos do Amido.** Arq.Biol.Tecnol. Curitiba – Brazil. 30(2):317 – 325.
24.; 1987. **A Farinha de Cará – de – Rama (Dioscorea bulbífera L.): III. Propiedades Reológicas das Pastas do Amido.** Arq.Biol.Tecnol. Curitiba – Brazil. 30(3):463 – 479.
25. **HOSENEY, R. C.; 1991. Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales.** Editorial Acribia S.A. 321 Págs.
26. **ITINTEC, 1974. Normas Técnicas Nacionales Obligatorias.** Lima Perú.
27. **JUAREZ, E.; 1995. Cultivos de Suelos Acidos: Paquetes tecnológicos y Avances de Investigación.** Fundación para el Desarrollo Agrario del Alto Mayo. Moyobamba – Perú. 50 Págs.
28. **KIBUUKA , G.; 1983. Isolamento, Caracterizacao Fisico – Química e Perspectivas Tecnológicas do Amido de Cará – de – Rama (Dioscorea bulbífera L. Opsofiton).** Boletín da Sociedade Brasileira de Ciencia e Tecnología de Alimentos. Campinas – Brazil. 17(3): 255 – 265.

29. **KIM, W.;** 1991. **Pshycochemical Properties of Several Korean Yam Starches.** Korean Journal of Food Science and Tecnology. Seoul – Korea Republic. 23(5):554 – 560.
30. **LEÓN, J.;** 1987. **Botánica de los Cultivos Tropicales.** Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José de Costa Rica. 445 Págs.
31. **LINDNER, E.;** 1978. **Toxicología de los Alimentos.** Editorial Acribia S.A. Zaragoza – España. 138 Págs.
32. **LOAYZA, C.;** 1981. **Factibilidad Técnica de la Obtención de Almidón de Pituca (Colocasia esculenta).** Tesis Ing. Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú. 144 Págs.
33. **MARTIN, F.;** 1975. **Bitterness of Dioscorea cayenensis.** Journal of Agricultural and Food Chemistry. Mayaguez – Puerto Rico. 23(6): 1218 – 1219.
34. **MARTINEZ, E.;** 1988. **Manual de Prácticas de Análisis de los Alimentos.** Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto – Perú. 118 Págs.

35.; 1995. **Manual de Prácticas de Microbiología Aplicada**. Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto – Perú. 72 Págs.
36. **MATOSSIAN, M.**; 1980. **Efeito da Adicao de Farinha de Cará (Dioscorea alata L) na Qualidade Tecnológica da Farinha de Trigo de Alta Extracao**. Informativo Anual. Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola da Universidad Estadual de Campinas. Campinas – Brazil. Nº 8:30-33.
37. **MENDIETA, O.W. Y MEDINA, M.L.**; 1992. **Manual de Practicas de Laboratorio de Ingenieria de Alimentos**. Universidad Nacional de San Martín Tarapoto – Perú. 97 Págs.
38. **MONTALDO, A.**; 1991. **Cultivo de Raíces y Tubérculos Tropicales**. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura . San José de Costa Rica. 407 Págs.
39. **NASON, A.**; 1980. **Biología**. Editorial Limusa S.A. Balderas – México. 10ma Edición.
40. **OZO, O.**; 1994. **Phenolics of Five Yam (Dioscorea species. Phytochemistry**. London – U.K. 23(2):329-331.
41. **POTTER, N.**; 1978. **La Ciencia de los Alimentos**. Editorial Edutex S.A. México. 749 Págs.

42. ROJAS, M.; 1992. Establecimiento de Germoplasma de Sachapapa (*Dioscorea spp*) para Selección y Propagación , Bajo Mayo San Martín. Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto – Perú. 11 Págs.
43. ROSENTHAL F.R.; 1972. Studies On The Starches Of *Dioscorea*, *Dioscorea alata* (Edible), and *Dioscorea cinnamomifolia* (Non Edible) *Staerke Guanabara – Brasil*. 24 (2): 54-58.
44. SAMUELSSON, G.; 1992. *Drugs of Natural Origin*. Editorial Swedish Pharmaceutical Press. Luxemburgo – Suecia. 320 Págs.
45. SCOTT, J.; 1992. Desarrollo de Productos de Raíces y Tubérculos. Vol II. Centro Internacional de la Papa. Lima – Perú. 375 Págs.
46. SPLITTSTOESSER, W.; 1977. Protein Quality and Quantity of Tropical Roots and Tubers. *Hort Science*. Illinois – U.S.A. 12(4i):294-298.
47. SUSUKI, A.; 1986. Physicochemical Properties of Nagaimo (Yam) Starch. *Journal of the Japanese Society of Starch Science*. Osaka – Japan. 33(3):191-198.
48. SWINKELS. J.J.; 1997. *Industria Starch Chemistry*. Editorial AVEBE b.a.

49. **USTIMENKO, V.;** 1982. **El Cultivo de Plantas Tropicales y Sub Tropicales.** Editorial MIR. Moscú – U.R.S.S. 430 Págs.

50. **WANASUNDERA, J.;** 1994. **Nutritional Absessment of Yam (*Dioscorea alata*) Tubers.** Plant Foods for Human Nutrition. Peradeniya-Sri Lanka. 46(1):33-39.

51. **WEBSTER, J.;** 1984. **Toxicity and Bitterness in Australian *Dioscorea bulbífera* L. And *Dioscorea hispida* Dennst. From Thailand.** Journal of Agricultural and Food Chemistry. Victoria – Australia. 32(5): 1087-1090.

52. **ZEEVALLOS, M.L.;** 1985. **Estudio Botánico y Químico del Tubérculo de *Dioscorea bulbífera* L. (Papa Magona).** Tesis Bach. Farmacia y Bioquímica. Universidad Católica Santa María. Arequipa – Perú. 99 Págs.

VIII. ANEXOS

ANEXO N° 01

ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LOS ALMIDONES DE MAIZ NO MODIFICADOS PARA USO INDUSTRIAL ALIMENTICIO Y FARMACEUTICO

| | |
|---|--------------|
| Humedad | 10.5 -12.5 % |
| Anhídrido Sulfuroso (SO ₂) | 50 ppm |
| Máximo pH | 4.5 - 6.5 |
| Material No amiláceo (NAM) | B o mejor |
| Viscosidad Scott | 70 segundos |
| Proteína, máximo | 0.45 % |
| Color | C o mejor |
| Sólidos Solubles máximo | 0.25 % |
| Cenizas, máximo | 0.50 % |
| Grasa, máximo | 0.10 % |
| Tamaño de partículas que pasa a través de la malla N° 80, mínimo | 99.90 % |
| Tamaño de partículas que pasa a través de la malla N° 100, mínimo | 97.00 % |

FUENTE : ITINTEC, 1974.

ANEXO N° 02

FORMATO 1

FICHA DE PRUEBA DE DIFERENCIA

NOMBRE:.....

LUGAR:.....

FECHA:.....PRODUCTO:.....

Califique las características de : COLOR, OLOR, TEXTURA de las muestras usando la siguiente escala:

- EXCELENTE : 5
- MUY BUENO : 4
- BUENO : 3
- REGULAR : 2
- MALO : 1

| MUESTRAS | COLOR | OLOR | TEXTURA |
|----------|-------|-------|---------|
| 431 | | | |
| 321 | | | |
| 211 | | | |
| 111 | | | |

OBSERVACIONES:.....
.....
.....

ANEXO 03

RESULTADO DE LA PRUEBA DE DIFERENCIA PARA ALMIDON DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera L.*)

COLOR

| PANELISTA | MUESTRA DE ALMIDONES | | | | TOTAL |
|-----------|----------------------|-----|-----|-----|-------|
| | A1 | A2 | A3 | A4 | |
| 1 | 3 | 4 | 5 | 4 | 16 |
| 2 | 4 | 3 | 4 | 4 | 15 |
| 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 15 |
| 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 17 |
| 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 17 |
| 6 | 3 | 3 | 3 | 4 | 13 |
| 7 | 2 | 3 | 3 | 4 | 12 |
| 8 | 3 | 4 | 4 | 5 | 16 |
| 9 | 3 | 4 | 4 | 5 | 16 |
| 10 | 4 | 3 | 5 | 4 | 16 |
| TOTAL | 34 | 36 | 40 | 43 | 153 |
| PROMEDIO | 3.4 | 3.6 | 4.0 | 4.3 | |

ANÁLISIS DE VARIANZA (A N V A)

| F.V. | G.L. | S.C. | C.M. | Fc | Ft |
|--------------|------|--------|-------|-------|-----------|
| Tratamientos | 3 | 4.875 | 1.625 | 4.944 | 2.96 * |
| Panelistas | 9 | 6.025 | 0.669 | 2.037 | 2.25 N.S. |
| Error | 27 | 8.875 | 0.329 | | |
| T O T A L | 39 | 19.775 | | | |

$$F_{\alpha, G.L.E} \quad F_{0.05, 3, 27} = 2.96$$

$$F_{\alpha, G.L.E} \quad F_{0.05, 9, 27} = 2.25$$

Como existe significancia entre los tratamientos, lo sometemos a la prueba de Duncan al 5% de error.

PRUEBA DE DUNCAN

Cálculo del Error Estándar

$$S_x = \sqrt{(CME / n)} \quad S_x = \sqrt{(0.329/10)} = 0.1813$$

Encontramos la Diferencia Significativa de la Tabla de Duncan al 5% con 27 G.L del error.

PRUEBA DE DUNCAN AL 5% PARA ALMIDONES DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.)

| COMPARACION | DIFERENCIA DE MEDIAS | DIFER. | D.M.S Tabla | ERROR | D.M.S. Experimental | SIG. |
|---|----------------------|---------|-------------|---------|---------------------|------|
| A4 - A1 | 4.3 - 3.4 | 0.9 | 3.135 | 0.1813 | 0.5684 | * |
| A4 - A2 | 4.3 - 3.6 | 0.7 | 3.050 | 0.1813 | 0.5530 | * |
| A4 - A3 | 4.3 - 4.0 | 0.3 | 2.905 | 0.1813 | 0.5267 | N.S |
| A3 - A1 | 4.0 - 3.4 | 0.6 | 3.050 | 0.1813 | 0.5530 | * |
| A3 - A2 | 4.0 - 3.6 | 0.4 | 2.905 | 0.1813 | 0.5267 | N.S |
| A2 - A1 | 3.6 - 3.4 | 0.2 | 2.905 | 0.1813 | 0.5267 | N.S |
| Notación Convencional de Significancia. | | A4 a | A3 d | A2 c | A1 b | |

RESULTADO DE LA PRUEBA DE DIFERENCIA PARA ALMIDON DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera L.*)

OLOR

| PANELISTA | MUESTRA DE ALMIDONES | | | | TOTAL |
|-----------|----------------------|-----|-----|-----|-------|
| | A1 | A2 | A3 | A4 | |
| 1 | 3 | 4 | 4 | 5 | 16 |
| 2 | 3 | 4 | 4 | 3 | 14 |
| 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 13 |
| 5 | 2 | 3 | 3 | 3 | 11 |
| 6 | 2 | 4 | 3 | 4 | 13 |
| 7 | 3 | 3 | 3 | 4 | 13 |
| 8 | 4 | 4 | 4 | 4 | 16 |
| 9 | 3 | 3 | 3 | 4 | 13 |
| 10 | 3 | 4 | 4 | 2 | 13 |
| TOTAL | 29 | 35 | 34 | 36 | 134 |
| PROMEDIO | 2.9 | 3.5 | 3.4 | 3.6 | |

ANÁLISIS DE VARIANZA (A N V A)

| F.V. | G.L. | S.C. | C.M. | Fc | Ft |
|--------------|------|--------|-------|-------|----------|
| Tratamientos | 3 | 2.900 | 0.967 | 3.035 | 2.96 * |
| Panelistas | 9 | 5.600 | 0.622 | 1.953 | 2.25 N.S |
| Error | 27 | 8.600 | 0.319 | | |
| TOTAL | 39 | 17.100 | | | |

$F_{\alpha, G.L.E} \quad F_{0.05, 3, 27} = 2.96$

$F_{\alpha, G.L.E} \quad F_{0.05, 9, 27} = 2.25$

Como existe significancia entre los tratamientos, lo sometemos a la prueba de Duncan al 5% de error.

PRUEBA DE DUNCAN

Cálculo del Error Estándar

$$S_x = \sqrt{(CME / n)} \quad S_x = \sqrt{(0.319/10)} = 0.1785$$

Encontramos la Diferencia Significativa de la Tabla de Duncan al 5% con 27 G.L del error.

PRUEBA DE DUNCAN AL 5% PARA ALMIDONES DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera L.*)

| COMPARACIÓN | DIFERENCIA DE MEDIAS | DIFER. | D.M.S Tabla | ERROR | D.M.S. Experimental | SIG. | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--------|-------------|--------|---------------------|------|----|----|----|----|--|--|--|---|---|---|---|--|--|--|
| A4 - A1 | 3.6 - 2.9 | 0.7 | 3.135 | 0.1785 | 0.5596 | * | | | | | | | | | | | | | | |
| A4 - A3 | 3.6 - 3.4 | 0.2 | 3.050 | 0.1785 | 0.5444 | N.S | | | | | | | | | | | | | | |
| A4 - A2 | 3.6 - 3.5 | 0.1 | 2.905 | 0.1785 | 0.5185 | N.S | | | | | | | | | | | | | | |
| A2 - A1 | 3.5 - 2.9 | 0.6 | 3.050 | 0.1785 | 0.5444 | * | | | | | | | | | | | | | | |
| A2 - A3 | 3.5 - 3.4 | 0.1 | 2.905 | 0.1785 | 0.5185 | N.S | | | | | | | | | | | | | | |
| A3 A1 | 3.4 2.9 | 0.5 | 2.905 | 0.1785 | 0.5185 | N.S | | | | | | | | | | | | | | |
| Notación Convencional de Significancia. | <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">A4</td> <td style="text-align: center;">A2</td> <td style="text-align: center;">A3</td> <td style="text-align: center;">A1</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">a</td> <td style="text-align: center;">d</td> <td style="text-align: center;">c</td> <td style="text-align: center;">b</td> <td colspan="3"></td> </tr> </table> | | | | | | A4 | A2 | A3 | A1 | | | | a | d | c | b | | | |
| A4 | A2 | A3 | A1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a | d | c | b | | | | | | | | | | | | | | | | | |

RESULTADO DE LA PRUEBA DE DIFERENCIA PARA ALMIDON DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L).

TEXTURA (Finura)

| PANELISTA | MUESTRA DE ALMIDONES | | | | TOTAL |
|-----------|----------------------|-----|-----|-----|-------|
| | A1 | A2 | A3 | A4 | |
| 1 | 4 | 3 | 4 | 5 | 16 |
| 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 16 |
| 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 15 |
| 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 16 |
| 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 16 |
| 6 | 4 | 4 | 4 | 4 | 16 |
| 7 | 3 | 3 | 4 | 3 | 13 |
| 8 | 3 | 3 | 4 | 4 | 14 |
| 9 | 4 | 4 | 3 | 4 | 15 |
| 10 | 4 | 3 | 3 | 4 | 14 |
| TOTAL | 37 | 35 | 38 | 41 | 151 |
| PROMEDIO | 3.7 | 3.5 | 3.8 | 4.1 | |

ANÁLISIS DE VARIANZA (A N V A)

| F.V. | G.L. | S.C. | C.M. | Fc | Ft |
|--------------|------|--------|-------|-------|----------|
| Tratamientos | 3 | 1.875 | 0.625 | 2.647 | 2.96 N.S |
| Panelistas | 9 | 2.725 | 0.303 | 1.282 | 2.25 N.S |
| Error | 27 | 6.375 | 0.236 | | |
| TOTAL | 39 | 10.975 | | | |

$$F_{\alpha, G.L.E} \quad F_{0.05, 3, 27} = 2.96$$

$$F_{\alpha, G.L.E} \quad F_{0.05, 9, 27} = 2.25$$

No existiendo diferencias significativa, se concluye que se puede tomar cualquier tratamiento y la textura será muy parecida.

ANEXO 04

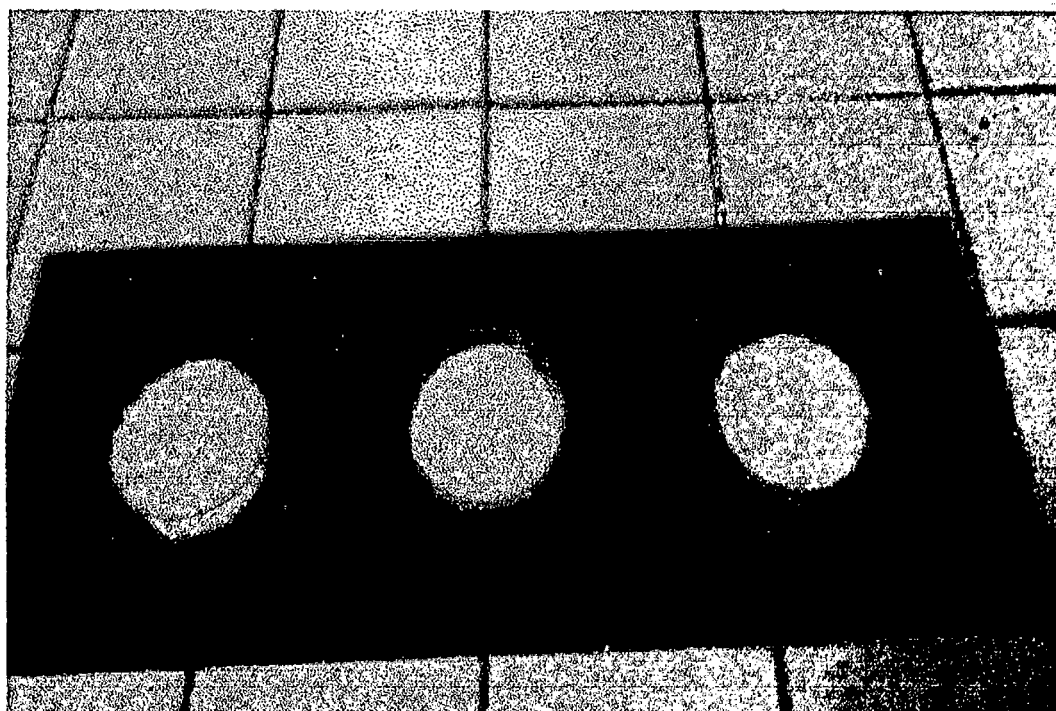


FIGURA 29: Fotografía de Muestras de Almidón de Papa Aérea (*Dioscorea bulbifera* L.); Se Observa el Color del Almidón Obtenido. (Foto: A. Dávila, 1999).

ANEXO 05

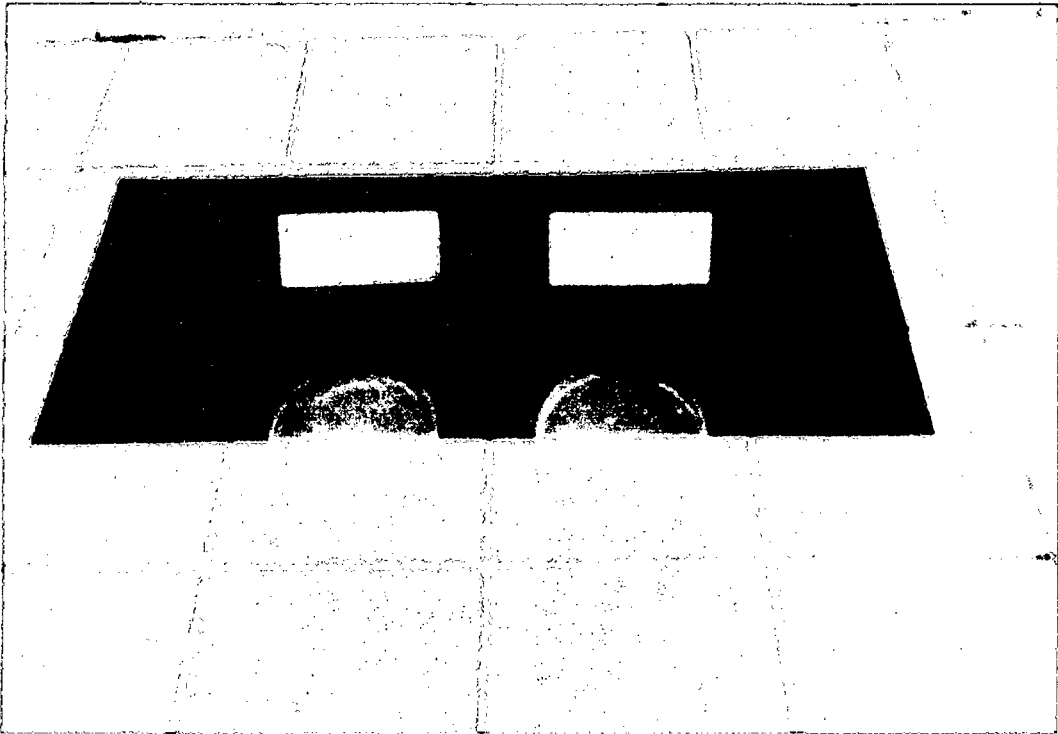


FIGURA 30 a: En Caliente

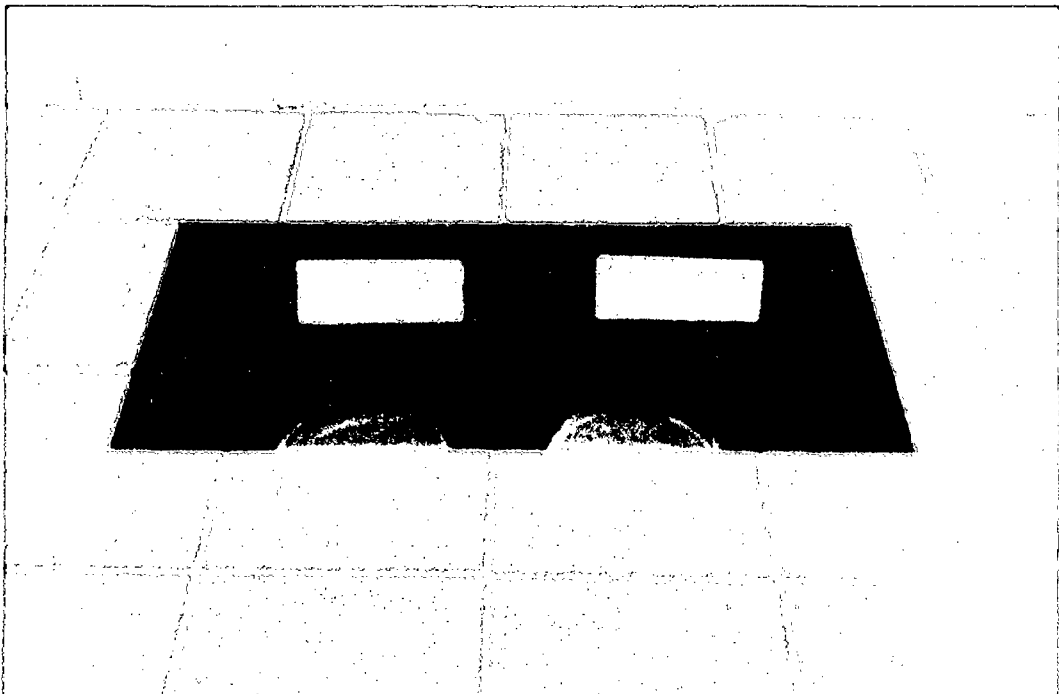


FIGURA 30 b: En Frio.
Transparencia de las Pastas de Almidón de Papa Aérea (*Dioscorea bulbifera* L.), y de Yuca (*Manihot esculenta* C.). (Foto: A. Dávila, 1999).

ANEXO 06

DETERMINACION DE ALMIDON, AZUCARES REDUCTORES Y AZUCAR TOTAL

Método de Frak Ross, descrito por Talburt y Smith (1975) y el Método ROSS modificado por el CIP (1979)

CURVA STANDARD DE GLUCOSA

- Pesar exactamente 1 gr. de glucosa anhidra.
- Colocar en una fiola de 500 ml y enrasar con agua destilada previamente hervida y fría.
- Tomar alícuotas de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 ml y colocarlas en fiolas de 100 ml.
- Enrasar a 100 ml y de allí tomar 1 ml de muestra más 1 ml de agua y colocar en un tubo de prueba.
- Agregar 6 ml del Reactivo de Ross a cada tubo y llevar estos a un baño maría en ebullición durante 6 minutos.
- Enfriar los tubos y realizar las lecturas de transmitancia a 600 nm.

Calcular la Densidad Óptica (D.O) o absorbancia:

$$D.O = 2 - \log T$$

PREPARACIÓN DEL REACTIVO DE ROSS

- a) SOLUCION A. Disolver 7.145 gr de 2,4 Dinitrofenol en 230 ml de NaOH al 5 % en baño maría o en agua caliente a 100°C hasta que el 2,4 Dinitrofenol se disuelva; luego adicionar 2.5 gr de fenol.

Calentar si es que la solución no se aclara

- b) **SOLUCION B.** Disolver 100 gr de Tartrato de Sodio y Potasio en 500 ml de agua destilada.

Mezclar las soluciones A y B luego llevar a 1000 ml en una fiola

Nota: si no hay 2,4 Dinitrofenol se puede usar 2,4 Dinitrofenolato de Sodio, para lo cual:

- a) **Solución A.** Disolver 8 gr de 2,4 Dinitrofenolato de sodio y 2,5 gr de fenol en 200 ml de NaOH al 5 %
- b) **Solución B.** Disolver 100 gr de Tartrato de Sodio y Potasio en 500 ml de agua destilada.

Mezclar las soluciones A y B y luego enrasar a 100 ml en una fiola.

Determinación de Azúcares Reductores

- Pesar 1 gr de muestra seca (Harina), colocar en erlenmeyer de 125 ml, agitar durante 30 minutos
- Añadir 40 ml de etanol al 80 %
- Filtrar con papel Whatman N° 04 sobre fiolas de 100 ml. Lavar el erlenmeyer con agua destilada lo suficiente hasta enrasar en la fiola a 100 ml
- Tomar 2 ml de muestra colocar en tubo de ensayo y agregar 6 ml del reactivo de ROSS.}
- Poner en agua hirviendo durante 6 minutos (en baño maría)

- Dejar enfriar en corriente de agua y leer la transmitancia de la muestra en el espectrofotometro a 600 nm. Calcular la densidad óptica o absorbancia.
- Determinar la concentración de azúcares reductores en la curva patrón (previamente restar el blanco)

Determinación de azúcares totales

- Pesar 1 gr de muestra seca (harina) agregar 50 ml de agua destilada, luego adicionar 5 ml de ácido clorhídrico (puro) y poner en baño maría con reflujo a 65 – 70 °C como máximo durante 5 minutos.
- Neutralizar hasta pH 6.5 con NaOH 5 N, que no pase de pH 7 para evitar la hidrólisis del almidón.
- Filtrar con papel filtro Whatman N° 04 y completar el volumen a 100 ml con agua destilada en fiola
- Tomar 2 ml de muestra colocar en tubo de ensayo y agregar 6 ml del reactivo de Ross
- Poner por 6 minutos en baño maría hirviente
- Dejar enfriar en corriente de agua y leer la transmitancia (T) de la muestra en el espectrofotometro a 600 nm. Calcular la densidad óptica o absorbancia.
- Determinar la concentración de azúcares totales en la curva patrón.

Determinación de Almidón

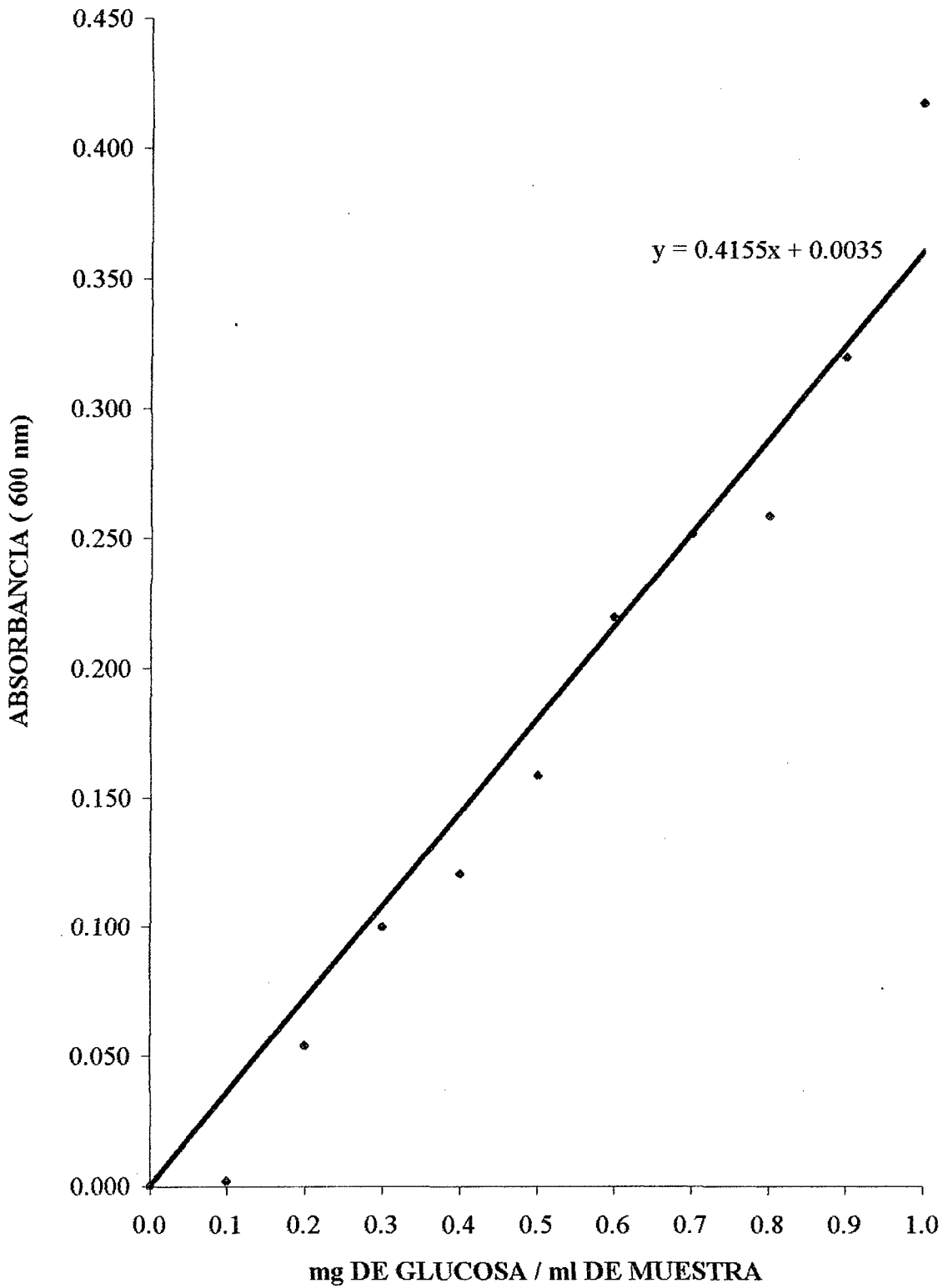
- Pesar 1 gr de muestra seca (harina) y agregar 100 ml de HCl al 5%

- Autoclavar a 15 lbs durante 30 a 60 minutos o poner en baño maría (65 – 70°C) durante 2 horas. Probar con una gota de yodo la ausencia de almidón
- Neutralizar a pH 6.5 con NaOH al 10%.
- Filtrar con papel filtro Whatman N° 01 (guardar en refrigeración si no se trabaja).
- Enrasar o completar el volumen a 250 ml con agua destilada en fiola, tomar alícuota de 2 ml de muestra colocar en tubo de ensayo y agregar 6 ml del reactivo de Ross.
- Poner por 6 minutos en baño maría hirviente (notar cambio de color)
- Dejar enfriar en corriente de agua y leer la transmitancia (T) de la muestra en el espectrofotometro a 600 nm. Calcular la densidad óptica o absorbancia.
- Determinar la concentración de azúcares a partir de la curva patrón.
- Calcular la cantidad de almidón con la siguiente relación:
$$\text{Almidón} = (\text{Azúcar (1)} - \text{Azúcar total}) \times 0.90$$

(1) Cantidad de azúcar, obtenido por el método descrito arriba.

ANEXO 07

FIG. 28: CURVA STANDAR DE GLUCOSA



ANEXO 08

Determinación del contenido de Oxalato de Calcio

Se empleó el método indicado por Weberhell y Smith (1975), citado por Loayza, (1981). Este método consiste en:

- Pesar una cantidad de muestra tal que después de ser llevada a la estufa a 105°C por 12 horas, se obtenga 10 a 15 gr de materia seca.
- Pesar en una cápsula 10 a 15 gr de materia seca y llevar a una mufla. Subir la temperatura tan lentamente que demore de 8 a 10 horas, en conseguir llegar a 350°C
- Ayudado con un alambre de platino, observar si hay presencia de materia orgánica (carbón) de ser así, subir la temperatura lentamente a 370°C.
- Una vez obtenida las cenizas libres de carbón, mantener la cápsula dos horas más en la mufla; luego dejar enfriar
- Agregar 10 a 15 ml de H₂SO₄ al tercio a la cápsula. Si se observa burbujas indica la presencia de carbonatos.
- Filtrar, lavando con agua destilada caliente, la cápsula y el filtrado, ayudándose de una bagueta "policía"
- Agregar 20 ml mas de H₂SO₄ al tercio y 50 ml de agua destilada caliente.
- Titular en caliente con permanganato de Potasio 0.001 N hasta que aparezca una coloración rosada, debiendo persistir por 30 segundos.
- Resultados: 1 ml de permanganato de potasio 0.001 N equivale a 64 x 10 E -6 gramos de oxalato de calcio. El resultado es dado en porcentaje referido a 100 gr de muestra seca.

ANEXO 09

SOLUBILIDAD Y PODER DE HINCHAMIENTO

Procedimiento modificado de Leach et al (1959), citado por Loayza 1981.

Una muestra pesada de almidón fue suspendida en agua destilada en un frasco de centrífuga. Luego fue calentada por 30 minutos, a una temperatura específica por inmersión en un baño con control termostático, con agitación, suave para que los gránulos estén suspendidos. La muestra fue luego centrifugada.

El supernadante acuoso fue removido y se determinó el peso del sedimento hinchado. El poder de hinchamiento fue calculado como el peso del sedimento por gramo de almidón seco y este valor corregido para solubles, para dar una medida del hinchamiento de la porción insoluble del almidón. La sustancia disuelta fue determinada directamente por secado y peso de una alícuota del supernadante.

Los patrones del hinchamiento y solubilidad fueron obtenidos graficando los datos obtenidos a intervalos de 5°C sobre el rango de pasta del almidón (de 75°C - 90°C)

$$\% \text{ sólidos solubles(base seca)} = \frac{\text{peso del almidón soluble} \times 100}{\text{peso de la muestra en base seca}}$$

$$\text{poder de hinchamiento corregido} = \frac{\text{peso de la pasta Sedimentada} \times 100}{(\text{peso muestra en B.S}) \times (100 - \% \text{ solubles B.S})}$$

ANEXO 10

AFINIDAD AL IODO

Bates, French y Rundle (1943) estandarizaron un método potenciométrico para determinar la afinidad del yodo por el almidón y expresaron los resultados como miligramos de yodo combinados, en lugar de dar un dato de porcentaje de amilosa en el almidón,

Esto se debe a que la amilosa de cada almidón tiene un poder de unión con el yodo diferente. El método se lleva a cabo de la manera siguiente:

Reactivos: KOH 1 N

HCl 0.5N

KI 0.5N

Solución patrón de yodo; 0.05 N con respecto a HCl, 0.05N con relación a KI y 0.20 miligramos de yodo por mililitro de solución.

Procedimiento:

- Pesar 100 miligramos de almidón y lavar varias veces con alcohol etílico para remover los ácidos y grasas, los cuales interfieren en la adsorción de yodo.
- Disolver el almidón en 5 ml de KOH 1 N y dejar en reposo por algunas horas con agitación ocasional, hasta obtener una solución perfectamente clara.
- Neutralizar la solución con HCl 0.5N usando metil naranja.
- Agregar 10 ml de solución de KI 0.5 N y diluir a 100 ml.
- Titular la solución potenciométricamente con la solución patrón de yodo. Usar electrodo de platino con uno de calomel saturado. Sería

deseable emplear un potenciómetro que de lecturas de mas o menos un milivoltio.

- Agitar mecánicamente la solución de almidón durante la titulación (puede ser con agitador magnético) y determinar de ocho a doce puntos entre 220 a 280 milivoltios.
- Hacer una titulación igual en muestra que no contenga almidón, con el objeto de tener la equivalencia de milivoltios en miligramos de yodo libre en la solución.
- Llevar a una curva los miligramos de yodo combinado contra milivoltios. Para cada punto debe descontarse el yodo libre obtenido en al titulación en blanco.
- La curva obtenida presenta un punto de inflexión correspondiente a los miligramos de yodo combinado con el almidón. Debe hacerse la corrección para base seca.

