

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN

FACULTAD DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



"DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS TECNOLÓGICOS
PARA OBTENCIÓN DE HARINA DE PAPA AEREA
(Dioscorea bulbifera L.) "ÑAME CONGO"

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

DAVID CORTEGANA PIZARRO

Tarapoto - Perú
2000



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS TECNOLÓGICOS PARA
OBTENCIÓN DE HARINA DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.)
“ÑAME CONGO”

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

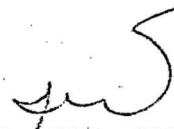
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

DAVID CORTEGANA PIZARRO

SUSTENTADA Y APROBADA ANTE EL SIGUIENTE JURADO:


Ing. M. Sc. Wázhin O. Aguilar Herrera
PRESIDENTE


Ing. M. Sc. Abner F. Obregón Lujerto
SECRETARIO


Ing. Angel Chávez Salazar
MIEMBRO


Ing. Epifanio E. Martínez Mena
ASESOR

TARAPOTO

2,000

DEDICATORIA

A mis padres: MANUEL HUMBERTO
Y RICARDINA, con eterna
gratitud por el invalorable
esfuerzo realizado a fin de
verme formado como
profesional.

A TEODOLINDA, con amor
por su comprensión y
apoyo permanente durante
mi formación
profesional.

A mis hijos: ALDO ANTONIO y
DANIÉLA FERNANDA, con amor y
carifio.

AGRADECIMIENTOS

- A la FUNDACION PARA EL DESARROLLO AGRARIO DEL ALTO MAYO (FUNDAAM) - Moyobamba, en la persona del Gerente General Ing. MARCO ANTONIO RIOS ROMERO, por la asignación del tema de tesis y financiamiento parcial de la investigación.

- Al Ing. EPIFANIO E. MARTINEZ MENA, profesor de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín, por el asesoramiento brindado durante la ejecución del presente trabajo.

- Al Ing. JUAN SALAZAR DIAZ, profesor de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín, por el apoyo proporcionado en la realización de los diferentes análisis químicos.

- A todas las personas que de una u otra forma contribuyeron a la ejecución del presente Trabajo de Investigación.

I N D I C E

| | Pag. |
|---|------|
| RESUMEN..... | 1 |
| I. INTRODUCCION..... | 3 |
| II. REVISION DE LITERATURA..... | 5 |
| 2.1. MATERIA PRIMA..... | 5 |
| 2.1.1. Generalidades..... | 5 |
| 2.1.2. Características botánicas..... | 6 |
| 2.1.2.1. Taxonomía..... | 6 |
| 2.1.2.2. Morfología y distribución..... | 7 |
| 2.1.3. Características biológicas y ecológicas... | 9 |
| 2.1.4. Producción y rendimiento..... | 10 |
| 2.1.5. Composición química y valor nutritivo..... | 11 |
| 2.1.5.1. Composición proximal..... | 11 |
| 2.1.5.2. Vitaminas y minerales..... | 12 |
| 2.1.5.3. Calidad proteica..... | 13 |
| 2.1.5.4. Almidón y propiedades..... | 15 |
| 2.1.5.5. Compuestos fenólicos y mucílagos..... | 16 |
| 2.1.5.6. Compuestos tóxicos..... | 17 |
| 2.1.5.6.1. Compuestos amargos..... | 17 |
| 2.1.5.6.2. Oxalato de calcio..... | 17 |
| 2.1.5.6.3. Acido cianhídrico..... | 18 |
| 2.1.5.6.4. Saponinas..... | 18 |
| 2.1.6. Almacenamiento..... | 19 |
| 2.1.7. Usos..... | 21 |
| 2.1.7.1. Alimentación humana..... | 21 |
| 2.1.7.2. Alimentación animal..... | 21 |
| 2.1.7.3. Medicina y farmacología..... | 21 |
| 2.2. PROCESO DE OBTENCION DE HARINA..... | 22 |
| 2.2.1. Selección y/o clasificación..... | 22 |
| 2.2.2. Lavado..... | 23 |
| 2.2.3. Pelado..... | 23 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 2.2.4. | Cortado..... | 24 |
| 2.2.5. | Precocción o escaldado..... | 24 |
| 2.2.6. | Sulfitado..... | 25 |
| 2.2.7. | Secado..... | 26 |
| 2.2.7.1. | Generalidades..... | 26 |
| 2.2.7.2. | Tipos de agua en los alimentos..... | 27 |
| 2.2.7.3. | Velocidad de secado..... | 28 |
| 2.2.7.4. | Períodos de secado..... | 29 |
| 2.2.7.5. | Métodos de calculo para el período de secado a velocidad constante..... | 32 |
| 2.2.7.5.1. | Método de curvas experimetales de secado..... | 32 |
| 2.2.7.5.2. | Método que emplea predicciones de coeficientes de transferencia..... | 33 |
| 2.2.7.6. | Métodos de cálculo para el período de secado a velocidad decreciente..... | 35 |
| 2.2.7.6.1. | Método gráfico..... | 35 |
| 2.2.7.6.2. | Métodos analíticos..... | 35 |
| 2.2.7.7. | Influencia del secado sobre la calidad de los alimentos..... | 37 |
| 2.2.8. | Molienda..... | 39 |
| 2.2.9. | Tamizado..... | 40 |
| 2.2.9.1. | Análisis granulométrico..... | 40 |
| 2.2.10. | Empacado y almacenamiento..... | 43 |
| 2.2.10.1. | Actividad de agua y estabilidad de los alimentos deshidratados..... | 43 |
| 2.2.10.1.1. | Factores que afectan la estabilidad | 43 |
| 2.2.10.1.2. | Isoterma de adsorción de vapor de agua..... | 46 |
| III. | MATERIALES Y METODOS..... | 48 |
| 3.1. | LUGAR DE EJECUCION..... | 48 |
| 3.2. | MATERIA PRIMA E INSUMOS..... | 48 |
| 3.3. | EQUIPOS Y MATERIALES..... | 48 |
| 3.4. | METODOLOGIA EXPERIMENTAL..... | 51 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5. METODOS DE ANALISIS..... | 57 |
| 3.5.1. De la materia prima..... | 57 |
| 3.5.1.1. Análisis físico..... | 57 |
| 3.5.1.2. Análisis químico..... | 58 |
| 3.5.2. Del almidón..... | 59 |
| 3.5.3. Durante el proceso de obtención de harina. | 60 |
| 3.5.4. Del producto final..... | 61 |
| 3.5.4.1. Análisis sensorial..... | 61 |
| 3.5.4.1.1. Prueba de ordenamiento o de ranking.. | 61 |
| 3.5.4.1.2. Prueba de preferencia..... | 61 |
| 3.5.4.2. Análisis físico..... | 61 |
| 3.5.4.3. Análisis químico..... | 62 |
| 3.5.4.4. Análisis microbiológico..... | 62 |
| 3.5.4.5. Análisis reológico..... | 63 |
| 3.5.5. Durante el almacenamiento..... | 63 |
| | |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSION..... | 64 |
| 4.1. DE LA MATERIA PRIMA..... | 64 |
| 4.1.1. Análisis físico..... | 64 |
| 4.1.1.1. Biometría..... | 64 |
| 4.1.1.2. Color..... | 65 |
| 4.1.1.3. Densidad..... | 65 |
| 4.1.1.4. Pérdida de peso durante el almacenamiento. | 67 |
| 4.1.2. Análisis químico..... | 72 |
| 4.2. DEL ALMIDON..... | 75 |
| 4.2.1. Aislamiento..... | 75 |
| 4.2.2. Morfología y tamaño de los gránulos..... | 75 |
| 4.2.3. Afinidad al yodo..... | 76 |
| 4.2.4. Temperatura de gelatinización..... | 76 |
| 4.2.5. Viscosidad..... | 78 |
| 4.3. DEL PROCESO DE OBTENCION DE HARINA DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.)..... | 81 |
| 4.3.1. Pelado..... | 81 |
| 4.3.2. Cortado..... | 84 |
| 4.3.3. Blanqueado..... | 84 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 4.3.4. | Sulfitado..... | 86 |
| 4.3.5. | Oreo..... | 87 |
| 4.3.6. | Deshidratación..... | 87 |
| 4.3.7. | Molienda..... | 92 |
| 4.3.8. | Tamizado..... | 93 |
| 4.3.9. | Diagrama de flujo óptimo y balance de materiales..... | 93 |
| 4.4. | DEL PRODUCTO FINAL..... | 94 |
| 4.4.1. | Análisis sensorial..... | 94 |
| 4.4.1.1. | Prueba de ordenamiento o de Ranking..... | 94 |
| 4.4.1.2. | Prueba de preferencia..... | 96 |
| 4.4.2. | Análisis físico..... | 96 |
| 4.4.2.1. | Peso específico..... | 96 |
| 4.4.2.2. | Granulometría..... | 97 |
| 4.4.2.3. | Isoterma de adsorción..... | 97 |
| 4.4.2.4. | Valor monomolecular..... | 100 |
| 4.4.3. | Análisis químico..... | 101 |
| 4.4.4. | Análisis microbiológico..... | 104 |
| 4.4.5. | Análisis reológico..... | 105 |
| 4.4.5.1. | Característica de flujo..... | 105 |
| 4.4.5.2. | Índice de absorción y solubilidad..... | 105 |
| 4.4.5.3. | Viscosidad..... | 107 |
| 4.5. | DEL ALMACENAMIENTO..... | 109 |
| 4.5.1. | Análisis químico..... | 110 |
| 4.5.2. | Análisis microbiológico..... | 111 |
| V. | CONCLUSIONES..... | 112 |
| VI. | RECOMENDACIONES..... | 114 |
| VII. | REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS..... | 115 |
| VIII. | ANEXOS..... | 125 |

INDICE DE CUADROS

| <u>Nº</u> | <u>T í t u l o</u> | <u>Pag.</u> |
|-----------|---|-------------|
| 01 | PRINCIPALES CULTIVOS DE RAICES Y TUBERCULOS A NIVEL MUNDIAL..... | 5 |
| 02 | PRODUCCION, AREA Y RENDIMIENTO DE ÑAME (<i>Dioscorea spp</i>) A NIVEL MUNDIAL..... | 11 |
| 03 | COMPOSICION PROXIMAL DE ALGUNAS ESPECIES DE ÑAMES (<i>Dioscorea spp</i>) Y DE OTROS CULTIVOS ALIMENTICIOS..... | 12 |
| 04 | CONTENIDO DE VITAMINAS Y MINERALES DE ALGUNAS ESPECIES DE ÑAMES (<i>Dioscorea spp</i>) Y DE OTROS CULTIVOS ALIMENTICIOS..... | 13 |
| 05 | PERFIL DE AMINOACIDOS ESENCIALES DE ALGUNAS ESPECIES DE ÑAMES (<i>Dioscorea spp</i>)..... | 14 |
| 06 | PRETRATAMIENTOS APLICADOS A LOS TUBERCULOS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>) ANTES DE LA DESHIDRATAACION..... | 56 |
| 07 | BIOMETRIA COMPARATIVA DE LOS TUBERCULOS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>)..... | 64 |
| 08 | COLOR EXTERNO E INTERNO DE LOS TUBERCULOS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>) SEGUN ESTANDARES DE COLOR DE RIDWAY (1912)..... | 67 |
| 09 | VARIACION DE PESO DE LOS TUBERCULOS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>) DURANTE EL | |

| | | |
|----|---|----|
| | ALMACENAMIENTO A CONDICIONES AMBIENTALES BAJO SOMBRA..... | 70 |
| 10 | TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE LA CIUDAD DE TARAPOTO-REGION SAN MARTIN DURANTE LOS MESES DE MAYO A OCTUBRE DE 1996..... | 72 |
| 11 | ANALISIS QUIMICO DE LOS TUBERCULOS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>)..... | 73 |
| 12 | VARIACION DE LA VISCOSIDAD DEL ALMIDON DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>) EN FUNCION DE LA TEMPERATURA..... | 78 |
| 13 | EFECTO DE LA CONCENTRACION DE SODA CAUSTICA COMERCIAL Y DEL TIEMPO DE INMERSION SOBRE EL PELADO DE LOS TUBERCULOS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>)..... | 82 |
| 14 | EFECTO DEL TIEMPO DE COCCION DE LOS TUBERCULOS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>) SOBRE LA ACTIVIDAD DE LA PEROXIDASA Y LA PERDIDA DE ACIDO ASCORBICO..... | 83 |
| 15 | EFECTO DEL TIEMPO DE BLANQUEADO DE LAS RODAJAS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>) SOBRE LA ACTIVIDAD DE LA PEROXIDASA Y LA PERDIDA DE ACIDO ASCORBICO..... | 85 |
| 16 | EFECTO DE LA CONCENTRACION DE BISULFITO DE SODIO SOBRE EL COLOR DE LAS RODAJAS Y EL CONTENIDO RESIDUAL DE SO ₂ EN LA HARINA DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>) DESHIDRATADA A 60°C..... | 86 |

| | | |
|----|---|-----|
| 17 | PARAMETROS DEL AIRE DE ENTRADA Y DE DESHIDRATACION..... | 87 |
| 18 | HUMEDAD INICIAL, CRITICA Y FINAL, Y TIEMPO TOTAL DE DESHIDRATACION DE MUESTRAS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.) A 65°C..... | 92 |
| 19 | RESULTADOS DE TAMIZADO Y MODULO DE FINURA DE LA HARINA DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.).. | 98 |
| 20 | VALORES DE ACTIVIDAD DE AGUA Y HUMEDAD DE EQUILIBRIO DE LA HARINA DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.) A 37°C..... | 98 |
| 21 | HUMEDAD DE MONOCAPA Y ACTIVIDAD DE AGUA DE LA HARINA DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.).. | 100 |
| 22 | ANALISIS QUIMICO DE LA HARINA DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.)..... | 102 |
| 23 | ANALISIS MICROBIOLOGICO DE LA HARINA DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.)..... | 104 |
| 24 | VARIACION DE LA VISCOSIDAD DE LA HARINA DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.) EN FUNCION DE LA TEMPERATURA..... | 109 |
| 25 | ANALISIS QUIMICO DE LA HARINA DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.) DURANTE EL ALMACENAMIENTO..... | 110 |
| 26 | ANALISIS MICROBIOLOGICO DE LA HARINA DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.) AL FINALIZAR ALMACENAMIENTO..... | 111 |

INDICE DE FIGURAS

| <u>N°</u> | <u>T í t u l o</u> | <u>Pag.</u> |
|-----------|--|-------------|
| 01 | CURVAS TÍPICAS DE SECADO DE UN SÓLIDO A CONDICIONES CONSTANTES..... | 31 |
| 02 | GRÁFICO NORMALIZADO DIN 4190 Y REPRESENTACIONES DE LA GRANULOMETRÍA DE UN PRODUCTO MOLIDO.. | 42 |
| 03 | VELOCIDAD RELATIVA DE DETERIORO DE LOS ALIMENTOS EN FUNCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE AGUA... | 44 |
| 04 | DIAGRAMA DE FLUJO PRELIMINAR PARA LA OBTENCIÓN DE HARINA DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>)..... | 53 |
| 05 | FORMAS DE LOS TUBERCULOS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>)..... | 66 |
| 06 | CORTE LONGITUDINAL DE UN TUBERCULO DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>) Y SUS PARTES.... | 68 |
| 07 | COMPORTAMIENTO DEL PESO DE LOS TUBERCULOS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>) DURANTE EL ALMACENAMIENTO A CONDICIONES AMBIENTALES BAJO SOMBRA..... | 71 |
| 08 | GRANULOS DE ALMIDÓN DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>) OBSERVADOS MICROSCÓPICAMENTE A 400X DE AUMENTO..... | 77 |
| 09 | VISCOGRAMA DEL ALMIDÓN DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>) A 4% DE CONCENTRACION..... | 79 |

| | | |
|----|--|-----|
| 10 | CURVAS DE SECADO DE MUESTRAS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.) A 65°C..... | 89 |
| 11 | CURVAS DE VELOCIDAD DE SECADO DE MUESTRAS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.) A 65°C..... | 90 |
| 12 | DIAGRAMA DE FLUJO OPTIMO PARA LA OBTENCION DE HARINA DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.) Y BALANCE DE MATERIALES..... | 95 |
| 13 | ISOTERMA DE ADSORCION DE LA HARINA DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.) A 37°C..... | 99 |
| 14 | CARACTERISTICA DE FLUJO DE LA HARINA DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.)..... | 106 |
| 15 | VISCOGRAMA DEL ALMIDON Y DE LA HARINA DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.) AL 4% DE CONCENTRACION..... | 108 |

INDICE DE ANEXOS

| <u>Nº</u> | <u>Título</u> | <u>Pag.</u> |
|-----------|---|-------------|
| 01 | DATOS EXPERIMENTALES DE DESHIDRATACION DE TUBERCULOS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.) A 65°C..... | 126 |
| 02 | FORMATO DE EVALUACION SENSORIAL: PRUEBA DE ORDENAMIENTO..... | 131 |
| 03 | RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ORDENAMIENTO PARA HARINAS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.) | 132 |
| 04 | DATOS DEL ANEXO 03 TRANSFORMADOS SEGUN LOS VALORES DE FISHER Y YATES..... | 133 |
| 05 | CALCULOS PARA EL ANALISIS DE VARIANZA (ANVA) DE LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ORDENAMIENTO PARA HARINAS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.) DESHIDRATADAS A 60°C..... | 135 |
| 06 | ANALISIS DE VARIANZA (ANVA) DE LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ORDENAMIENTO PARA HARINAS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.)..... | 137 |
| 07 | PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ORDENAMIENTO PARA HARINAS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera</i> L.)..... | 138 |
| 08 | FORMATO DE EVALUACION SENSORIAL: PRUEBA DE PREFERENCIA..... | 140 |

| | | |
|----|---|-----|
| 09 | RESULTADO DE LA PRUEBA DE PREFERENCIA PARA HARINAS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>). | 141 |
| 10 | ANALISIS DE VARIANZA (ANVA) DE LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA DE PREFERENCIA PARA HARINAS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbifera L.</i>)..... | 141 |
| 11 | PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA DE PREFERENCIA PARA HARINAS DE PAPA AEREA (<i>Dioscorea bulbiferaL.</i>)..... | 142 |

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de establecer los parámetros adecuados para la obtención de harina de Papa Aérea (*Dioscorea bulbifera* L.) mediante secado con aire caliente, empleando secador de bandejas con circulación de aire por convección forzada y flujo paralelo. Comprendió el estudio de la materia prima, del almidón, del proceso y del producto final, realizándose según el caso evaluaciones físico-químicas, reológicas, microbiológicas y sensoriales.

Los tubérculos de Papa Aérea (*Dioscorea bulbifera* L.) reportaron alto contenido de carbohidratos totales (88.6548% b.s.), almidón (75.6905% b.s.), cenizas (4.3971% b.s.) y ácido ascórbico (112.3877 mg/100 g m.s.), pero en cuanto al contenido de proteínas (5.7296% b.s.) alcanzaron valores intermedios para tubérculos y raíces tropicales. Presentaron bajos niveles de compuestos tóxicos (oxalato de calcio, 112.1727 mg/100 g m.s.; ácido cianhídrico combinado, 29.4516 mg/100 g m.s.; saponinas, 5.4379% b.s.), los cuales no representan ningún problema nutricional dado a los mecanismos de destoxificación existentes durante el procesamiento y dentro del organismo en caso de ser ingeridos. Durante el almacenamiento a condiciones ambientales bajo sombra (27.75°C y 73.00% H.R., en promedio), registraron pérdidas de peso de 6.69 y 19.09% a 115 y 180 días de almacenamiento, respectivamente, iniciándose la germinación a los 115 días.

Los gránulos de almidón de Papa Aérea (*Dioscorea bulbifera* L.) reportaron alto contenido de amilosa (23.30%), el cual determina una alta temperatura de gelatinización (69-80°C) y una curva de viscosidad típica de almidones resistentes al tratamiento térmico y de tendencia retrogradativa.

Durante el proceso se evaluó la bondad de cinco (05) diagramas de flujo, determinándose el mejor flujo mediante análisis sensorial de las harinas (Pruebas de Ordenamiento y de Preferencia), el cual corresponde al procesamiento de la muestra 2 (pelado manual-sulfitado) a una temperatura de secado de 65°C, es decir: Materia prima, selección, lavado, pelado manual, cortado, sulfitado, oreo, secado (65°C), molienda, tamizado, envasado y almacenamiento.

Durante el pelado manual se registró una merma de 19.50%. La concentración óptima de bisulfito de sodio fue de 0.30%, con un tiempo de inmersión de 5 minutos. Se experimentó un tiempo de deshidratación de 8.50 hr, alcanzándose un nivel de humedad en la harina de 6.8927%. Durante el tamizado se experimentó una merma de 12.33%, obteniéndose un rendimiento harinero de 17.67%.

La harina obtenida siguiendo el diagrama de flujo óptimo fue sometida a evaluaciones físico-químicas, reológicas y microbiológicas, así como a almacenamiento durante 60 días. Los resultados físicos demostraron que el producto corresponde a la clasificación "fina", con un valor monomolecular de 6.4106 y 5.6930 g H₂O/100 g m.s. (Modelo G.A.B. y B.E.T., respectivamente) y una Aw de 0.23, óptima para la estabilidad de alimentos deshidratados. Los resultados químicos mostraron las mismas bondades de la materia prima, con un nivel de sulfito residual (SO₂) de 19 ppm b.s. Los parámetros reológicos demostraron que las pastas de esta harina tienen poca capacidad de absorción de agua y gran tendencia retrogradativa, lo que motiva realizar otros estudios reológicos para determinar su posible uso. La reducida carga microbiana de la harina, al finalizar el proceso y el almacenamiento, demuestran las estrictas condiciones higiénicas empleadas.

I. INTRODUCCION

La América Tropical, excepto Argentina, Canadá, Chile, Estados Unidos y Uruguay, destina aproximadamente el 70% de su requerimiento de cereales sin moler a la alimentación humana y el 30% restante a la preparación de raciones para aves, cerdos y vacunos. Esta demanda se puede satisfacer o sustituir parcialmente incrementando el área cultivada de cereales, continuando con importaciones masivas o cultivando plantas tropicales que son grandes fuentes de carbohidratos.

La producción de cereales en los trópicos se ve limitada por el alto nivel de riesgo debido a las condiciones ambientales (precipitación pluvial y degradación de suelos); oportunidad de financiamiento; provisión de insumos adecuados en calidad, cantidad y oportunidad; bajo rendimiento comparado a los de zonas templadas (a excepción del arroz); y deficiencia en el almacenamiento, procesamiento y comercialización.

Respecto a la importación de cereales, a los diversos países, aunque cuenten con los recursos monetarios suficientes, no les resulta posible conseguir estas provisiones en el mercado mundial en la cuantía requerida.

Ante estos inconvenientes se considera que la alternativa más lógica para suplir aquel déficit es utilizar los recursos del medio tropical, es decir los cultivos de ciclo largo como la yuca (*Manihot esculenta*), los ñames (*Dioscorea spp*), el taro (*Colocasia esculenta*), el ócumo (*Xanthosoma sagittifolium*) y los plátanos (*Musa spp*). Estas son plantas de más elevado rendimiento energético/Ha/año a nivel mundial, tienen tradición de cultivo, dependen relativamente poco de insumos importados, se adaptan al ecosistema tropical, son fáciles de manejar y para su

procesamiento pueden utilizarse técnicas desde sencillas hasta complicadas.

Dentro de una gama de cultivos de raíces y tubérculos tropicales, en la Región San Martín y particularmente en el Alto Mayo se halla ampliamente distribuida, en forma cultivada o silvestre, una especie de "sachapapa" o "ñame" conocida como "papa aérea" o "ñame congo" (*Dioscorea bulbifera* L.), la cual es consumida en forma cocida y frita, y puede ser incorporada como harina en la dieta del poblador regional y nacional, en forma de sopas, postres, panes, fideos, galletas, mezclas formuladas, etc.; además, puede destinarse a la preparación de raciones para animales.

En la Región San Martín, la Fundación para el Desarrollo Agrario del Alto Mayo - Moyobamba viene investigando este cultivo desde el año 1993, destacándose por su adaptabilidad y alto rendimiento (hasta 18 Ton/Ha). En la actualidad se sigue manteniendo el cultivo con el fin de continuar con los estudios agronómicos y afianzar la investigación sobre su posible agroindustrialización, ya sea como harina, almidón, puré, papa frita y otros derivados.

Ante esta posibilidad, el presente trabajo de investigación plantea los siguientes objetivos:

1. Determinar los parámetros tecnológicos para obtención de harina de papa aérea (*Dioscorea bulbifera* L.), empleando secador de bandejas.
2. Evaluar las características físico-químicas y organolépticas de la harina obtenida.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. MATERIA PRIMA

2.1.1. Generalidades

Los cultivos de raíces y tubérculos figuran entre los alimentos humanos más antiguos y pueden competir favorablemente con los cereales en la eficiencia de producción de alimentos (F.A.O., 1990). Estos cultivos, que 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*), ocupan el segundo lugar mundial en área sembrada y volumen de producción, luego de los cereales (MONTALDO, 1991).

La producción de los cultivos de raíces y tubérculos, a excepción de la papa y en parte el camote, se encuentra localizada preferentemente en los trópicos (zonas húmedas y subhúmedas de Africa, América Latina y Asia), tal como se aprecia en el Cuadro 01.

CUADRO 01: PRINCIPALES CULTIVOS DE RAICES Y TUBERCULOS A NIVEL MUNDIAL

| CULTIVO | PRODUCCION TM x 10 ³ | SUPERFICIE Há x 10 ³ | RENDIMIENTO TM/Há | PRODUCCION TROPICAL % |
|---------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Papa | 286 472 | 20 167 | 14.20 | 25 |
| Yuca | 123 153 | 14 879 | 8.28 | 100 |
| Camote | 144 842 | 7 914 | 14.51 | 50 |
| Ñame | 23 299 | 2 471 | 9.33 | 90 |
| Pituca | 5 221 | 1 133 | 4.61 | 85 |

Fuente : MONTALDO, 1991.

Entre los ñames tropicales figuran el ñame propiamente dicho (*Dioscorea spp*) y los cultivos aráceos de la familia Araceae

(F.A.O., 1990). El Género *Dioscorea* comprende más de 600 especies (EVANS, 1995), siendo la mayoría tropicales, varias subtropicales y unas pocas alpinas; sin embargo, sólo las especies tropicales tienen significación económica (USTIMENKO, 1982). Las principales especies alimenticias de ñames tropicales comprenden: *Dioscorea alata*, *Dioscorea cayenensis*, *Dioscorea bulbifera*, *Dioscorea trifida* y *Dioscorea esculenta* (MONTALDO, 1991). En Africa Occidental, en las zona con alta pluviosidad, el ñame es un alimento muy apreciado y constituye el principal cultivo de tubérculos alimenticios de la "zona del ñame", que va desde Costa de Marfil hasta el Camerún; asimismo, es el carbohidrato comestible favorito en el Asia Sudoriental, la India y en algunas zonas del Brasil (F.A.O., 1990).

Dioscorea bulbifera se distingue de las otras especies por los numerosos bulbos o tubérculos 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 (algunas veces ausentes), generalmente duros, amargos e impalatables (GIACOMETTO, 1986).

2.1.2. Características botánicas

2.1.2.1. Taxonomía

Según MONTALDO (1991), la papa aérea tiene la siguiente ubicación taxonómica :

| | |
|------------------|------------------|
| Superreino | Eucaryotes |
| Reino | Vegetal |
| Subreino | Embryophyta |
| Phyllum | Tracheophyta |
| Superclase | Angiospermae |
| Clase | Monocotyledoneae |

| | |
|-----------------|---|
| Orden | Liliales |
| Familia | Dioscoreaceae |
| Género | Dioscorea |
| Especie | <i>Dioscorea bulbifera</i> L. |
| Sinonimia | <i>D. tamifolia</i> , <i>D. tunga</i> , <i>Helmia bulbifera</i> . |

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. Morfología y distribución

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 peciolo 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 estaminada 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 trifido. 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 alcanzado la madurez se desprenden de la planta (LEON, 1987). Normalmente pesan unos 500 g, pudiendo llegar hasta 2 Kg (GIACOMETTO, 1986). Tienen formas irregulares: reniformes, hepaticiformes o polihédricas (KIBUUKA, 1983; ZEVALLOS, 1995), siendo por lo general arrifionados, 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).

Existen dos cultivares de papa aérea: los asiáticos y los africanos. En los primeros, los bulbos aéreos son esféricos o elipsoidales, amarillentos o grises, con muchas lenticelas, en los segundos son angulosos, grises a café oscuro, con la superficie marcada por depresiones. En ambos cultivares el córtex es delgado y verdoso; la pulpa es uniforme con pocas fibras y amarillenta, aunque hay tubérculos en que las antocianinas las tiñen de tonos oscuros y exuda abundante mucílago (LEON, 1987).

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 suber y 2-3 estratos de tejido epidérmico (subepidérmico) de células polihédricas. 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 rafídeas es escasa (ZEVALLOS, 1985).

El tubérculo subterráneo o rizoma, que no se desarrolla en varios cultivares, es amargo y no comestible (GIACOMETTO, 1986; MONTALDO, 1991).

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 África 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 San Martín y parte de Loreto (Provincia de Alto Amazonas) se distribuyen tres especies de ñames o sachapapas: *Dioscorea bulbifera*, *Dioscorea alata* y *Dioscorea trifida* (ROJAS, 1992). En el Alto Mayo, *Dioscorea bulbifera* se halla en forma silvestre en todo el valle; sin embargo, desde el año 1993, la Fundación para el Desarrollo Agrario del Alto Mayo - Moyobamba viene realizando estudios de manejo agronómico y problemas fitosanitarios, manteniéndose el cultivo con el fin de afianzar los estudios iniciados y de su posible agroindustrialización (JUAREZ, 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, la fructificación a los 3.5-4 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 del 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° y 30°C, 20°C se considera como mínima; no soportan 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 fotoperíodo 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-arcillo-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 fertilización N-K y en lo posible cierta proporción de materia orgánica.

2.1.4. Producción y rendimiento

Las áreas principales de ñame (*Dioscorea spp*) se encuentran en las regiones tropicales de Africa. El área mundial de este cultivo alcanza 2 466 000 Há, con una producción de 24 520 000 TM y rendimiento medio de 9.9 TM/Há (SCOTT, 1992).

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 sólo es importante en Brasil, Colombia, Haití y Venezuela, tal como se observa en el Cuadro 02.

Según USTIMENKO (1982), el rendimiento de los ñames varía enormemente dependiendo del medio ambiente, el nivel tecnológico del cultivo, la especie y el cultivar. Los rendimientos medios son del orden de 7.5-17.5 TM/Há en Africa Occidental, 12.5-25.0 TM/Há en Asia Sudoriental y 20-30 TM/Há en las Antillas.

ROJAS (1992), en una evaluación comparativa de clones de sachapapa (*Dioscorea spp*) en el Bajo Mayo - San Martín, determinó rendimientos de hasta 16.70 TM/Há; correspondiendo 12.50 TM/Há a la especie *Dioscorea bulbifera*. En el Alto Mayo,

para condiciones de suelos ácidos, durante 1994 se obtuvieron rendimientos de hasta 18.00 TM/Há de papa aérea (JUAREZ, 1995).

CUADRO 02: PRODUCCION, AREA Y RENDIMIENTO DE ÑAME (*Dioscorea spp*) A NIVEL MUNDIAL

| PAIS | PRODUCCION TM x 10 ³ | AREA Ha x 10 ³ | RENDIMIENTO TM / Ha |
|---------------------|------------------------------------|------------------------------|------------------------|
| AFRICA | 22 238 | 2 344 | 9.4 |
| Nigeria | 16 625 | 1 500 | 11.0 |
| Costa de Marfil | 2 320 | 300 | 7.0 |
| Ghana | 450 | 110 | 4.0 |
| 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 |
| ASIA | 160 | 16 | 9.8 |
| Japón | 135 | 8 | 15.5 |
| Filipinas | 25 | 9 | 2.9 |
| OCEANIA | 210 | 15 | 13.8 |
| Papúa - Nva. Guinea | 168 | 11 | 14.9 |
| Nva. Caledonia | 12 | 2 | 7.0 |
| Fijii | 10 | 1 | 7.0 |
| TOTAL | 23 299 | 2 471 | 9.4 |

Fuente: MONTALDO, 1991.

2.1.5. Composición química y valor nutritivo

2.1.5.1 Composición proximal

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, 1995; MATOSSIAN, 1980). 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, 1.0-2.8% de proteína bruta, 22-29% de carbohidratos, menos de 1.0% de azúcares reductores, 0.03-1.20% 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 03.

CUADRO 03: COMPOSICION PROXIMAL DE ALGUNAS ESPECIES DE ÑAMES (*Dioscorea spp*) Y DE OTROS CULTIVOS ALIMENTICIOS (Contenido en 100 gr de la parte comestible)

| ALIMENTO | ENERGIA (Cal) | COMPONENTES (gr) | | | | | | Referencia |
|-----------------|---------------|------------------|----------|-------|---------------|-------|---------|------------|
| | | Humedad | Proteína | Grasa | Carbohidratos | Fibra | Cenizas | |
| Ñame o | | | | | | | | |
| Sachapapa: | | | | | | | | |
| D. bulbifera | - | 68.00 | 1.55 | 0.03 | - | - | 0.72 | 1 |
| D. bulbifera | 140 | 63.05 | 1.22 | 0.04 | 33.88 | 0.74 | 1.07 | 2 |
| D. alata | 87 | 76.10 | 1.90 | 0.10 | 20.10 | 0.80 | 1.00 | 3 |
| D. trifida | 106 | 72.00 | 2.30 | 0.30 | 24.10 | 0.30 | 1.00 | 3 |
| D. trifida | 112 | 72.20 | 1.80 | 1.50 | 23.50 | 0.40 | 1.00 | 4 |
| Papa blanca | 97 | 74.50 | 2.10 | 0.10 | 22.30 | 0.60 | 1.00 | 4 |
| Camote amarillo | 116 | 69.90 | 1.20 | 0.20 | 27.60 | 1.00 | 1.10 | 4 |
| Yuca blanca | 162 | 58.90 | 0.80 | 0.20 | 39.30 | 1.10 | 0.80 | 4 |
| Pituca | 102 | 73.70 | 1.60 | 0.50 | 23.20 | 0.80 | 1.00 | 4 |
| Plátano verde | 152 | 57.00 | 1.00 | 0.20 | 40.90 | 0.80 | 0.90 | 4 |
| Maíz amarillo | 312 | 17.20 | 8.40 | 1.10 | 69.40 | 3.80 | 1.20 | 4 |
| Arroz pulido | 359 | 13.10 | 8.20 | 0.50 | 77.80 | 0.40 | 0.40 | 4 |
| Trigo | 336 | 14.50 | 8.60 | 1.50 | 73.70 | 3.00 | 1.70 | 4 |

Fuente: (1) JUAREZ, 1995; (2) KIBUUKA, 1983; (3) MONTALDO, 1991; (4) COLLAZOS, 1993.

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). Al respecto, BAQUAR (1977) en un estudio del contenido de minerales de 6 especies de ñames nigerianos (*D. alata*, *D. rotundata*, *D. dumetorum*, *D. esculenta*, *D. cayenensis* y *D. bulbifera*), determinó un alto contenido de K,

seguido por P, Mg, Ca, Na, Fe, Zn, Cu y Mn, correspondiendo el tenor más alto de P y Ca, y el más bajo de Fe, a *Dioscorea bulbifera*. El contenido de vitaminas y minerales de ñames comestibles y de otros cultivos alimenticios, se presenta en el Cuadro 04.

CUADRO 04: CONTENIDO DE VITAMINAS Y MINERALES DE ALGUNAS ESPECIES DE ÑAMES (*Dioscorea* spp) Y DE OTROS CULTIVOS ALIMENTICIOS (Contenido en 100g de la parte comestible)

| ALIMENTO | VITAMINAS (mg) | | | | | MINERALES (mg) | | | Referencia |
|-------------------|----------------|---------|-------------|---------|--------------|----------------|-------|------|------------|
| | Retinol | Tiamina | Riboflavina | Niacina | A. Ascórbico | Ca | P | Fe | |
| Ñame o Sachapapa: | | | | | | | | | |
| D. bulbifera | 0.66 | 0.70 | 0.70 | 1.00 | 27.00 | 34.0 | 40.0 | 2.96 | 1 |
| D. bulbifera | - | - | - | - | - | 45.0 | 231.0 | 0.35 | 2 |
| D. alata | 0.02 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 12.00 | 18.0 | 96.0 | 0.50 | 1 |
| D. alata | - | - | - | - | - | 17.0 | 161.0 | 2.37 | 2 |
| D. trifida | 0.00 | 0.09 | 0.03 | 0.44 | 3.10 | 3.0 | 30.0 | 0.70 | 3 |
| Papa blanca | 0.03 | 0.09 | 0.09 | 1.67 | 14.00 | 9.0 | 47.0 | 0.50 | 3 |
| Camote amarillo | 0.25 | 0.14 | 0.05 | 0.63 | 10.00 | 41.0 | 31.0 | 0.80 | 3 |
| Yuca blanca | 0.01 | 0.04 | 0.04 | 0.76 | 30.70 | 25.0 | 52.0 | 0.50 | 3 |
| Pituca | 0.01 | 0.03 | 0.06 | 0.72 | 4.40 | 50.0 | 41.0 | 1.20 | 3 |
| Plátano verde | 1.30 | 0.09 | 0.14 | 0.62 | 10.40 | 8.0 | 43.0 | 0.50 | 3 |
| Maíz amarillo | 0.02 | 0.30 | 0.16 | 3.25 | 0.70 | 6.0 | 267.0 | 1.70 | 3 |
| Arroz pulido | 0.00 | 0.09 | 0.08 | 1.60 | 0.90 | 6.0 | 92.0 | 0.80 | 3 |
| Trigo | 0.00 | 0.30 | 0.06 | 2.65 | 4.60 | 36.0 | 224.0 | 4.60 | 3 |

Fuente: (1) FRANCO, 1992; (2) BAQUAR, 1977; (3) COLLAZOS, 1993.

2.1.5.3. Calidad proteica

Las raíces y tubérculos tropicales (yuca, papa, camote, ñame, pituca, tania y arrurruz) 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).

El perfil de aminoácidos esenciales de algunas especies de ñames se ilustra en el Cuadro 05.

CUADRO 05: PERFIL DE AMINOACIDOS ESENCIALES DE ALGUNAS ESPECIES DE ÑAMES (*Dioscorea spp*) (Gramos de aminoácidos por 100 g de proteína)

| AMINOACIDO | REFERENCIA F.A.O. (*) | <i>D. alata</i> | <i>D. bulbifera</i> | <i>D. trifida</i> |
|--------------|-----------------------|-----------------|---------------------|-------------------|
| Leucina | 4.8 | 7.5 | 10.0 | 8.6 |
| Lisina | 4.2 | 5.2 | 4.3 | 4.6 |
| Metionina | 2.2 | 1.9 | 0.8 | 1.3 |
| Cistina (1) | 2.0 | 0.5 | 2.2 | 1.6 |
| Fenilalanina | 2.8 | 5.8 | 6.2 | 5.2 |
| Treonina | 2.8 | 4.2 | 5.0 | 5.0 |
| Tirosina (2) | 2.8 | 3.2 | 2.4 | 3.1 |
| Valina | 4.2 | 4.2 | 6.3 | 5.1 |
| Isoleucina | 4.2 | 3.7 | 4.8 | 3.9 |
| Triptófano | 1.4 | 0.6 | 0.2 | 0.2 |

(1) y (2) Aminoácidos no esenciales para el hombre.

(*) Requerimientos mínimos para los alimentos humanos.

Fuente: MONTALDO, 1991.

FRANCIS (1975), al evaluar la calidad de las proteínas de muestras cocidas-deshidratadas de 4 especies de ñames (*D. alata*, *D. cayenensis*, *D. trifida* y *D. rotundata*), determinó que los bajos niveles de este componente imposibilitaron obtener resultados significativos de Utilización Neta de Proteínas (NPU), en experimentos con alimentos en bioterio (ratas). Al respecto, SHU (1974), suplementando las proteínas de 3 variedades de ñames con proteínas de arroz y harina de semilla de algodón (10% de proteína total: 3.5% de ñame y 6.5% de otros), determinó que todas las dietas propician el crecimiento de las ratas, pero sólo las dietas ñame-semilla de algodón produjeron incremento de peso similares a aquella con caseína, con alta digestibilidad que las otras dietas. Las dietas de ñames mostraron baja NPU que la caseína. OMOLE (1978), al evaluar el valor nutritivo de los ñames mediante pruebas de alimentación con ratas, determinó Relaciones de Eficiencia Proteica (PER) entre 2.25 y 2.66 (el maíz, utilizado como muestra control, alcanzó un PER de 2.50);

asimismo, las muestras no presentaron ninguna toxicidad a un nivel del 30%.

2.1.5.4. Almidón y propiedades

Los ñames, incluido *Dioscorea bulbifera*, contienen 70.4 - 73.4 % de almidón (base seca), excepto *D. Cayenensis*, *D. liebrechtsiana* y *D. rotundata* que alcanzan niveles del 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, y 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% (SUZUKI, 1986; KIM, 1991); la amilosa pura tiene una afinidad al yodo de 20%, (LOAYZA, 1981). KIBUUKA (1983), reporta para *D. bulbifera* 24.35% 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 69.0 - 80.5 °C, siendo de 72.0 - 80.0 °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).

2.1.5.5. 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 trímera y tetrámera. En las demás especies, incluido *D. bulbifera*, sólo 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, 1986).

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%) (SHI, 1984).

2.1.5.6. 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).

2.1.5.6.1. 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/g 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). Las variedades amargas de *Dioscorea demetorum* contienen el alcaloide dihidrodioscorina, una toxina hidrosoluble que produce convulsiones (F.A.O., 1990). La sustancia responsable del sabor amargo de los tubérculos de *Dioscorea cayenensis* es una leucoantocianidina (MARTIN, 1975).

2.1.5.6.2. Oxalato de calcio

Los rafidios 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% (WANASUNDERA, 1994) y pueden ser destruidos fácilmente mediante cocción o deshidratación (NIETO, 1977).

El ácido oxálico, presente en los vegetales en forma de cristales de oxalato de calcio, al ser consumido se deposita en los conductos renales y en el interior de las células de los intoxicados, produciendo un descenso de la calcemia (nivel de calcio en la sangre) por una elevada eliminación renal y otras enfermedades como anuria, hematuria e ictericia (LINDNER, 1978).

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 venenoso 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).

El catabolismo del cianuro es complejo e implica la interacción con aminoácidos azufrados, lo cual lleva a la producción del tiocianato, sustancia que muestra una notable actividad antitiroidea. 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). El HCN ejerce su acción tóxica bloqueando a la citocromooxidasa, impidiendo con ello la respiración celular, y la muerte se produce por anoxia; pero, el organismo dispone de antidotos que permiten la destoxificación, ellos son una sulfurtransferasa (rodanasa) y la vitamina B₁₂ (hidroxicobalamina) (LINDNER, 1978).

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 saponina, se conocen dos grupos de saponinas: esteroides (C₂₇) y triperpenoides (C₃₀), ambos con origen biogenético común vía ácido mevalónico y unidades isoprenoides. 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). Las saponinas tienen 3 propiedades: sabor amargo, formación de espuma en soluciones acuosas y hemólisis de los glóbulos rojos (FENNEMA, 1993). Las saponinas triterpenoides, que son usadas como expectorantes, causan una lenta hemólisis comparada con las saponinas esteroides (GUNNAR, 1992).

2.1.6. Almacenamiento

Después de la cosecha, los ñames entran a una etapa de letargo bastante prolongada, durante la cual se pueden almacenar si las condiciones son idóneas (F.A.O., 1990). Tradicionalmente los ñames son almacenados a temperatura ambiente (25-30°) y a la sombra, ya sea en montones o colocados en una sola capa (MONTALDO, 1991).

Los tubérculos de *D. rotundata* y *D. dumetorum* después de 110 días de almacenamiento, bajo condiciones ambientales tropicales, alcanzan pérdidas de peso de 31 y 35%, respectivamente, debido a la germinación y deshidratación; el contenido del almidón decrece 3.5-4.5%, mientras que los contenidos de azúcar y de fibra aumentan (TRECHE, 1996). El incremento de los niveles de hexosas, sacarosa y maltosa se debe a la interconversión almidón-azúcar (KOUASSI, 1990). El almacenamiento de los tubérculos de *D. rotundata* a 16°C (por 9 meses y a 85-88% HR) reduce la pérdida de peso y los tubérculos permanecen firmes, turgentes, sin germinar y libre de pudrición; a 10°C, experimentan daños por enfriamiento, caracterizado por

putrefacción acuosa y significativa pérdida de peso; y a 30°C, muestran alta incidencia de germinación y significativa pérdida de peso (MOZIE, 1988).

La aplicación post cosecha de ácido giberélico (AG) es una clara posibilidad para extender la dormancia y por lo tanto la vida de almacenamiento de los tubérculos de *D. alata* y *D. esculenta* (WICKHAM, 1984); a concentraciones mayores de 50 ppm, las batatasinas I y IV (sustancias fenólicas inhibidoras del crecimiento) prolongan la dormancia, pero los efectos no son como los producidos por la giberelina A₃ (IRELAND, 1985). Otra forma de preservación de los ñames es el "curado", que consiste en guardar los tubérculos a temperatura de 28-32°C por cerca de 5 días o a temperatura de 35-37°C por 3 días, ambos a alta humedad relativa (cerca de 95%) (PASSAM, 1982); con este tratamiento se logra cicatrizar las superficies lesionadas o magulladas por formación de peridermis y ésta, a su vez, funciona como una barrera contra la penetración de hongos y bacterias patógenas, reduciendo la pudrición (PANTASTICO, 1984). Los ñames curados pueden almacenarse hasta 4 meses a 30°C y 70% HR (MONTALDO, 1991).

La pudrición blanda o suave (producida por *Aspergillus niger* Van Tiegh, *Botryodiplodia theobromae* Pat, *Fusarium moniliforme* Sheldon, y *Penicillium sclerotigenum* Yanamoto) puede ser evitada empleando fungicidas como benomyl, tiabendazole (250 ppm), captan, iprodione y mancozeb (OGUNDANA, 1981) o utilizando ácido indolacético a razón de 100 mg/l (MONTALDO, 1981).

Otra técnica que permite prolongar el almacenamiento de los ñames es la irradiación gamma. Los tubérculos de ñames tratados con dosis de 0.0, 5.0 y 7.5 Krad muestran 100, 45.1 y 3% de germinación, respectivamente, luego de 200 días de almacenamiento a temperatura ambiente (RIVERA, 1974).

2.1.7. Usos

2.1.7.1. 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, Dáhomey 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).

2.1.7.2. 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, 2.5 Mcal/Kg de energía digestible y 2.4 Mcal/Kg de energía metabolizable. Por otro lado, una investigación sobre el efecto de la sustitución parcial del maíz por harina de ñame (*D. alata* y *D. esculenta*) en raciones isonitrogenadas e isocalóricas para gallinas Liorca Blanca, indica que la harina de *D. alata* es satisfactoria como fuente energética hasta niveles de 17.5%, mientras que *D. esculenta* presenta indicios de toxicidad y no es recomendable (**MONTALDO**, 1991).

2.1.7.3. 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). La diosgenina es utilizada como material de partida para la síntesis de hormonas sexuales, cortisona, esteroides diuréticos, vitamina D y heterósidos cardíacos (EVANS, 1995).

2.2. PROCESO DE OBTENCION DE HARINA

La producción comercial de harina de ñame (*Dioscorea spp*) es limitada, los estudios existentes es a nivel de laboratorio con fines de investigación. Según GIACOMETTO (1986), la producción de harina de *Dioscorea bulbifera* consta de las siguientes etapas: selección, limpieza, descascarado, laminado, deshidratado, molienda, tamizado y acondicionamiento.

2.2.1. Selección y/o clasificación

La selección es una operación que consiste en la separación de la materia prima en grupos con características físicas diferentes tales como peso, tamaño, forma y color; mientras que la clasificación consiste en la separación en grupos con diferentes características de calidad. Las materias primas se seleccionan en base a sus propiedades geométricas (forma, uniformidad de la forma, carencia de la irregularidades en la superficie y tamaño), físicas (peso, superficie específica, color, textura, propiedades aero e hidrodinámicas y propiedades friccionales) y funcionales (flavor, resistencia al stress debido al procesamiento y carencia de defectos) (BRENNAN, 1980).

2.2.2. Lavado

El lavado es una operación en la que el alimento se libera de sustancias que lo contaminan, dejando su superficie en condiciones adecuadas para su elaboración posterior (FELLOWS, 1994). Existen dos métodos de limpieza: métodos secos (tamizado, cepillado, aspiración, abrasión, separación magnética) y métodos húmedos (inmersión, aspersión, rociado, flotación, limpieza ultrasónica, filtración, decantación). Los métodos de limpieza en seco presentan la ventaja de ser relativamente baratos y convenientes ya que la superficie queda seca. Los métodos en húmedo son eficaces para eliminar las partículas del suelo firmemente adheridas y útiles porque permiten el empleo de detergentes y productos sanitarios, sin embargo emplean grandes cantidades de agua y las superficies húmedas se alteran con más rapidez (BRENNAN, 1980).

2.2.3. Pelado

El pelado consiste en la eliminación del material no comestible, empleando métodos al vapor, a cuchillo, por abrasión, caústico y a la llama (FELLOWS, 1994). Los tubérculos de *Dioscorea alata* pueden ser pelados en un tambor rotatorio de madera, donde la suficiente fricción entre los tubérculos y las paredes internas del descascarador permite remover eficientemente la cáscara, usando corriente de agua (MATOSSIAN, 1980); también se obtiene buenos resultados utilizando soluciones de lejía (NaOH de 76 % de pureza) hirviendo, a concentraciones y tiempos siguientes: 10 % en 5 min., 15 % en 4 min. y 20 % en 3 min. (RIVERA, 1972). La cáscara fina de los tubérculos de *D. bulbifera* es removida cuando son hervidos por 3 min. en una solución de NaOH al 3 % (GIACOMETTO, 1986).

2.2.4. Cortado

La subdivisión del alimento a deshidratar, en piezas pequeñas o capas delgadas, acelera la transmisión de calor y la transferencia de masa, y en consecuencia el secado, debido a que proporciona más superficie de contacto con el medio de calentamiento y reduce la distancia que el calor tiene que recorrer hasta el centro del alimento (**POTTER**, 1978). Según **MATOSSIAN** (1980), los tubérculos de *D. alata* son cortados en rodajas de 1-2 mm de espesor.

2.2.5. Precocción o escaldado

La precocción o escaldado es una breve cocción, en agua o vapor, de los alimentos vegetales que se consumen habitualmente en forma cocida y que se desea elaborar como conserva, deshidratado o congelado. Tiene como finalidades:

- Ablandar el tejido vegetal, de modo que pueda soportar sin daño las posteriores manipulaciones y reducir su volumen aparente.
- Eliminar el aire y otros gases de los espacios intercelulares, para disminuir las reacciones de oxidación.
- Aumentar la permeabilidad de las paredes celulares, y por consiguiente aumentar la velocidad de deshidratación y facilitar la posterior rehidratación.
- Completar el lavado del producto, reduciendo también la contaminación química y microbiana.
- Destruir (finalidad más importante) las enzimas que pueden originar alteraciones, especialmente durante el almacenamiento en estado deshidratado o congelado.

Junto a las ventajas mencionadas, la precocción presenta diversos inconvenientes: ablandamiento excesivo; pérdidas de ciertos nutrientes (vitaminas hidrosolubles, sales minerales, azúcares) por difusión en el agua; transformación de una parte de la clorofila en feofitina; destrucción o formación de compuestos olorosos. La eficiencia de la precocción puede controlarse según la inactivación o persistencia de dos enzimas oxidativas: la catalasa y la peroxidasa. La actividad de la primera se pone de manifiesto triturando el producto precocido y mezclándolo con carbonato cálcico y peróxido de hidrógeno: un desarrollo gaseoso (O_2) indica una actividad catalásica. La actividad peroxidásica se manifiesta por la aparición de un color parduzco, cuando se pone en contacto con el guayacol y peróxido de hidrógeno. La peroxidasa es la más termorresistente entre las enzimas de deterioro (CHEFTEL, 1988). Los factores que determinan el tiempo de escaldado son: el tipo de verdura, su tamaño, la temperatura de escaldado y el sistema de calentamiento. Las pérdidas de ácido ascórbico se utilizan como medida de la calidad del alimento y por tanto de la intensidad del escaldado (FELLOWS, 1994). La temperatura de precocción está comprendida entre 70 y 100°C, con una duración entre 1 y 5 minutos (CHEFTEL, 1988)

2.2.6. Sulfitado

Al igual que el escaldado, el sulfitado es una técnica que permite evitar el oscurecimiento enzimático y no enzimático y la proliferación de microorganismos en los alimentos que van a ser deshidratados; estos efectos se logran por tratamiento con bisulfito de sodio, de potasio o de calcio, con metabisulfito de sodio o potasio, y con dióxido de azufre o ácido sulfuroso (C.E.R., 1991). Los sulfitos inhiben el oscurecimiento enzimático mediante la eliminación de los o-difenoles producidos por las polifenoloxidasas, impidiendo su posterior polimerización, y por la formación de sulfonatos al reaccionar con las o-quinonas

(WONG, 1995), pero también actúan directamente sobre las polifenoloxidasas (CHEFTEL, 1988). En el caso del oscurecimiento no enzimático, producido por la reacción de Maillard, degradación del ácido ascórbico y por caramelización, los sulfitos interrumpen las etapas que conducen a la formación de compuestos coloreados, vía la formación de sulfonatos estables con los compuestos carbonilos (WONG, 1995). La absorción de SO_2 por parte del alimento tiene una relación directa con el tiempo de inmersión e indirecta con el pH de la solución (RODRIGUEZ, 1981). El consumo per cápita de sulfitos (expresados como SO_2) es de 6 mg; siendo el consumo diario máximo aceptable de 0.7 mg/Kg/día, equivalente a 42 mg de SO_2 para un adulto de 60 Kg de peso (WONG, 1995).

2.2.7. Secado

2.2.7.1. Generalidades

El secado o deshidratación es la operación donde se elimina por evaporación o sublimación (liofilización) casi todo el agua que contienen los alimentos mediante la aplicación de calor bajo condiciones controladas (BRENNAN, 1980); siendo los motivos de la deshidratación la conservación, la disminución del peso y volumen, y la producción de artículos convenientes (POTTER, 1978).

Los métodos de deshidratación se clasifican en:

- Deshidratación con aire caliente, cuando el alimento se pone en contacto con una corriente de aire caliente y el calor se aplica al producto principalmente por convección.
- Deshidratación por contacto directo con una superficie caliente, cuando el calor se aplica al producto principalmente por conducción.

- Deshidratación mediante el aporte de energía de una fuente radiante, de microondas o dieléctrica.

- Liofilización, cuando el agua de los alimentos se congela y seguidamente se sublima a vapor, generalmente por aporte de calor en condiciones de muy baja presión (BRENNAN, 1980).

Cualquiera que sea el método, la deshidratación de un alimento implica la introducción del calor al producto y la extracción de la humedad (POTTER, 1978). La deshidratación con aire caliente cumple las siguientes funciones:

- Cede al material húmedo el calor necesario para la difusión y evaporación de la humedad.

- Absorbe el vapor de agua formado y lo aparta de la superficie húmeda.

- Barre de la superficie del material la película de aire húmedo, disminuyendo su espesor (NIETO, 1977).

Los equipos usados para la deshidratación de alimentos pueden ser secadores de bandejas, secadores indirectos de vacío con anaqueles, secadores continuos de túnel, secadores rotativos, secadores de tambor, secadores por pulverización y secadores de granos (GEANKOPLIS, 1982).

2.2.7.2. Tipos de agua en los alimentos

Según FENNEMA (1993), el agua en los alimentos se encuentra bajo dos formas: ligada y masiva. El agua ligada es la que existe en la vecindad de los solutos y otros constituyentes no acuosos, exhibiendo reducida movilidad molecular y otras propiedades significativamente alteradas respecto a la "masa de agua" del mismo sistema, siendo incongelable a -40°C ; consta del

agua constitucional (agua ligada más tenazmente y que forma parte integral de la sustancia no acuosa), agua vecinal (agua que ocupa los sitios de la primera capa de los grupos más hidrofílicos de los constituyentes no acuosos) y casi toda el agua de multicapa (agua menos tenazmente ligada que el agua vecinal y que todavía está suficientemente próxima a los constituyentes no acuosos como para que sus propiedades estén significativamente alteradas respecto a las del agua pura). La cantidad de agua necesaria para formar una monocapa sobre los grupos altamente polares y accesibles de la materia seca corresponde a la humedad de monocapa, la cual consta del agua constitucional y vecinal. El agua de la fase masiva (agua libre y/o apropiada) ocupa las posiciones más alejadas de los constituyentes no acuosos, tiene propiedades similares a las del agua de soluciones salinas diluidas, es congelable pero con ligera a moderada reducción del punto de congelación y representa ~96% del agua de un alimento de alta humedad.

2.2.7.3. Velocidad de secado

La velocidad de secado se define como la pérdida de humedad del sólido en la unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial $(-dx/dt)$ operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire a temperatura, presión, humedad y velocidad constantes. El modelo matemático de la velocidad de secado es:

$$R = \frac{S}{A} \left(- \frac{dx}{dt} \right) \dots\dots\dots (01)$$

Donde : R = velocidad de secado, en Kg H₂O/hr.m²
S = peso del sólido seco, en Kg
A = área de la superficie expuesta, en m²
(OCON, 1980).

Según **NIETO** (1977), los factores que influyen en la velocidad de secado están referidos a las características del material a secar (naturaleza, tamaño, forma y carga de las bandejas) y a las condiciones del aire de secado (temperatura, humedad, presión y velocidad). De éstos, la composición química y la estructura física son los factores más importantes, pues determinan la velocidad con que el agua se desplaza desde el interior hacia la superficie del cuerpo. En cuanto al tamaño y forma, la subdivisión del alimento en piezas pequeñas o capas delgadas acelera la transmisión de calor y la transferencia de masa, dando lugar a que se incremente la velocidad y se reduzca el tiempo de secado. Cuanto mayor es la carga de la bandeja por unidad de superficie, mayor es el tiempo de secado y menor la calidad del producto final, por lo que es recomendable una carga media de 4.5-8.0 Kg/m², pudiendo llegar hasta 15 Kg/m².

2.2.7.4. Períodos de secado

Según **GEANKOPLIS** (1982), el ciclo de secado de un sólido, a condiciones constantes y con aporte de calor por convección, puede dividirse en varios períodos o etapas, tal como se ilustra en la Figura 01.

a. Período A-B

En esta fase o período de "estabilización" las condiciones de la superficie del sólido se equilibran con las del aire de desecación (**BRENNAN**, 1980). Al principio, el sólido suele estar a una temperatura inferior a la temperatura del aire y la velocidad de evaporización va en aumento hasta llegar al punto B en donde alcanza su valor de equilibrio; si la temperatura inicial es bastante elevada, la velocidad de secado puede iniciarse en el punto A' (**GEANKOPLIS**, 1982). Con frecuencia esta fase constituye una porción despreciable del ciclo total de

deseccación, pero en algunos casos puede ser significativa (BRENNAN, 1980).

b. Período B-C

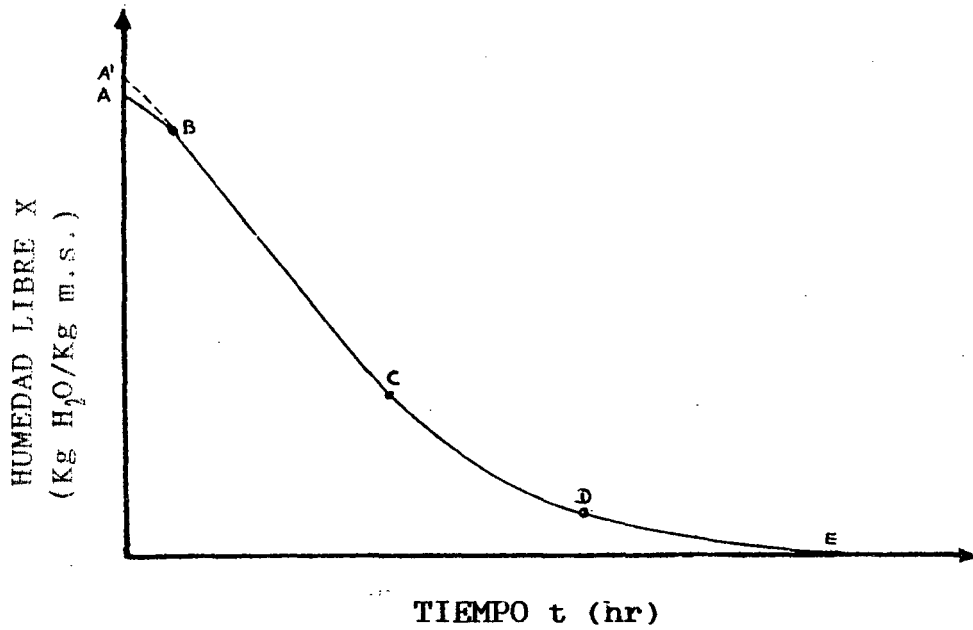
Fase conocida como periodo de velocidad constante, durante la cual la superficie del sólido se mantiene saturada de agua líquida debido a que el movimiento del agua desde el interior del sólido a la superficie ocurre a la misma velocidad que la de evaporación en la superficie (BRENNAN, 1980). Esta película de agua continua está siempre sin combinar y actúa como si el sólido no estuviera presente. La velocidad de evaporación es independiente del sólido y es esencialmente igual a la velocidad que tendría una superficie líquida pura (GEANKOPLIS, 1982). La velocidad de transferencia de masa se equilibra con la velocidad de transferencia de calor, de forma que la temperatura de la superficie de desecación se mantiene constante y es similar a la temperatura de bulbo húmedo (BRENNAN, 1980).

c. Período C-D

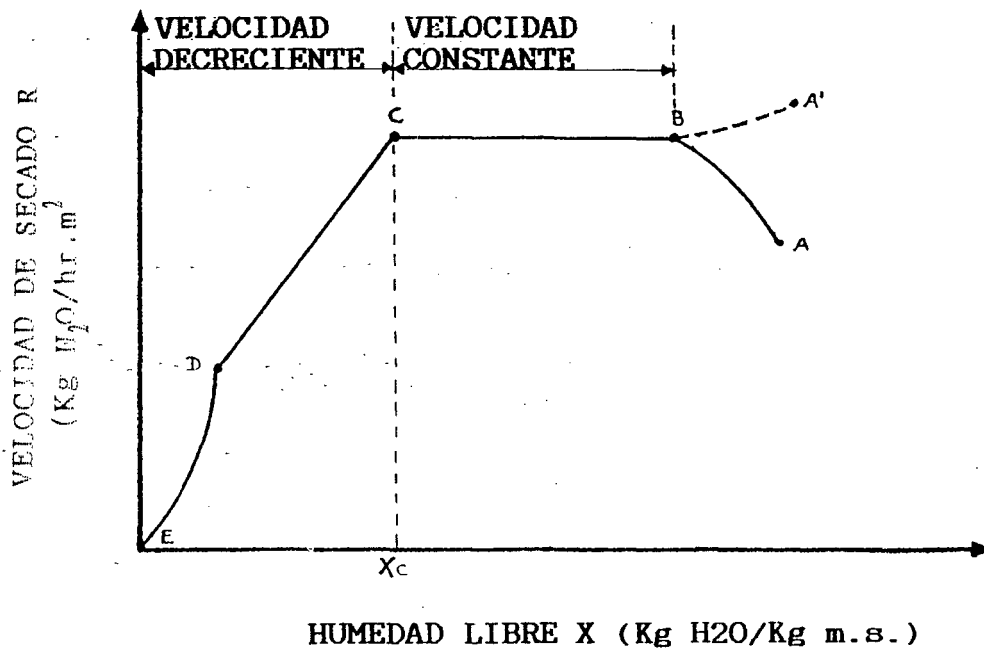
En esta fase o primer período de velocidad decreciente la superficie del sólido se seca y disminuye la velocidad de desecación (BRENNAN, 1980). En el punto C (correspondiente al contenido crítico de humedad libre X_c) no hay suficiente agua en la superficie para mantener una película continua, la superficie ya no está totalmente mojada y la porción mojada comienza a disminuir hasta que la superficie queda seca en su totalidad en el punto D (GEANKOPLIS, 1982).

FIGURA 01: CURVAS TÍPICAS DE SECADO DE UN SÓLIDO A CONDICIONES CONSTANTES

a. CURVA DE HUMEDAD LIBRE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO



b. CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD LIBRE



Fuente: GEANKOPLIS, (1982).

d. **Periodo D-E**

En esta fase o segundo periodo de velocidad decreciente el plano de evaporación se desplaza hacia el interior del sólido y la velocidad de desecación decae aún más (BRENNAN, 1980). El calor para la evaporación se transfiere a través del sólido hasta la zona de evaporación y el agua vaporizada atraviesa el sólido para llegar hasta la corriente de aire (GEANKOPLIS, 1982).

Durante los periodos de velocidad decreciente la temperatura de la superficie comienza a elevarse hasta aproximarse a la temperatura de bulbo seco del aire cuando el producto se ha desecado casi totalmente; asimismo, la velocidad de desecación está influenciada principalmente por la velocidad de movimiento de la humedad dentro del sólido, reduciéndose los efectos de los factores externos, en especial de la velocidad del aire, sobre todo en la última etapa (BRENNAN, 1980).

2.2.7.5. Métodos de calculo para el periodo de secado a velocidad constante

Durante el periodo de secado a velocidad constante es posible estimar el tiempo necesario mediante curvas experimentales de secado y por predicciones de coeficientes de transferencia (GEANKOPLIS, 1982).

2.2.7.5.1. Método de curvas experimetales de secado

Este método comprende el uso de curvas de secado y de velocidad de secado. La curva de secado (Figura 01.a) o de contenido de humedad libre en función del tiempo, donde el tiempo se determina directamente, se construye con los datos experimentales reales, obtenidos bajo las mismas condiciones que tendrá el secador en la práctica. Lo más recomendable es emplear la curva de velocidad de secado (Figura 01.b), donde el tiempo

para el periodo de velocidad constante, partiendo de la Ecuación 01, es:

$$t = \frac{s}{A R_c} (X_1 - X_2) \dots\dots\dots (02)$$

- Donde :
- t = tiempo de secado, en hr
 - s = peso del sólido seco, en Kg
 - A = área superficial expuesta al secado, en m²
 - R_c = velocidad constante de secado, en Kg H₂O/hr.m²
 - X₁, X₂ = humedad libre inicial y final, respectivamente, en Kg H₂O/Kg m.s.

(GEANKOPLIS, 1982).

2.2.7.5.2. Método que emplea predicciones de coeficientes de transferencia

Durante el período de velocidad constante, cuando se opera en estado estable, la velocidad de eliminación del vapor de agua (secado) equivale a la velocidad de transferencia de calor hasta la superficie de evaporación. Para deducir la ecuación de secado, debe suponerse que la transferencia de calor sólo se verifica del gas caliente a la superficie del sólido por convección y de la superficie al gas caliente por transferencia de masa.

La velocidad de transferencia convectiva de calor q en W desde el gas a T °C a la superficie del sólido a Tw °C, está dada por:

$$q = h (T - T_w) A \dots\dots\dots (03)$$

Donde: h = coeficiente de transferencia de calor, en W/m².K

A = área de secado expuesta, en m²

La ecuación del flujo específico del vapor de agua N_A en mol Kg H₂O/s.m², corresponde a:

$$N_A = K_y \frac{M_B}{M_A} (H_w - H) \dots\dots\dots (04)$$

Donde: K_y = coeficiente de transferencia de masa
M_A, M_B = peso molecular del agua y del aire, respectivamente.
H_w, H = humedad en la interfase y en el seno del aire, respectivamente.

La cantidad de calor necesario para vaporizar N_A mol.Kg/s.m² de agua es igual a:

$$q = M_A N_A \lambda_w A \dots\dots\dots (05)$$

Donde: λ_w = calor latente de vaporización a T_w, en Kj/Kg H₂O.

Igualando las Ecs. (03) y (05) y sustituyendo N_A por la Ec. (04):

$$Rc = \frac{q}{A \lambda_w} = \frac{h (T_s - T_w)}{\lambda_w} = K_y M_B (H_w - H) \dots\dots\dots (06)$$

Es más confiable usar la ecuación de transferencia de calor (07), puesto que cualquier error en la determinación de la temperatura interfacial T_w en la superficie, afecta a la fuerza impulsora (T-T_w) mucho menos que el efecto que produce sobre (H_w-H):

$$Rc = \frac{h (T - T_w)}{\lambda_w} \dots\dots\dots (07)$$

Cuando el aire fluye paralelamente a la superficie de secado, para una temperatura del aire de 45-150°C y una velocidad-masa G de 2 450-29 300 Kg/hr.m² o una velocidad de 0.61-7.60 m/s, el coeficiente de transferencia de calor h en W/m².K, será:

$$h = 0.0204 G^{0.8} \dots\dots\dots (08)$$

Donde:

$$G = v \rho$$

(GEANKOPLIS, 1982).

2.2.7.6. Métodos de cálculo para el período de secado a velocidad decreciente

2.2.7.6.1. Método gráfico

Este método emplea la integración gráfica de la Ec. (09), trazando 1/R en función de X y determinando el área bajo la curva

$$t = \frac{S}{A} \int_{x_1}^{x_2} \frac{dX}{R} \dots\dots\dots (09)$$

(GEANKOPLIS, 1982)

2.2.7.6.2. Métodos analíticos

En general, el período de velocidad decreciente o poscrítico puede dividirse en dos tramos: uno en el que la velocidad de secado varía linealmente con la humedad desde el punto crítico (primer período poscrítico), y otro en el que no se

cumple esta variación lineal (segundo período poscrítico), aunque puede no presentarse esta separación neta entre ambos tramos (OCON, 1980).

Si la velocidad de secado es una función lineal de X, la integración de la Ec. anterior conduce a la expresión:

$$t = \frac{S}{A} \cdot \frac{(X_1 - X_2)}{(R_1 - R_2)} \ln \frac{R_1}{R_2} \dots \dots \dots (10)$$

Donde : X₁ y X₂ son inferiores a X_c.

Si la velocidad de secado es una función lineal que pasa a través del origen, la integración de la Ecuación (09) conduce a:

$$t = \frac{S}{A} \frac{X_c}{R_c} \ln \frac{X_c}{X_2} \dots \dots \dots (11)$$

$$R = R_c \frac{X}{X_c} \dots \dots \dots (12)$$

(GEANKOPLIS, 1982).

Durante el primer período poscrítico, la velocidad de secado en cualquier instante puede calcularse en función de las velocidades y humedades crítica y final correspondientes a este período, de acuerdo con la ecuación:

$$R = R_c \frac{X_c - X}{X_c - X_f} (R_c - R_f) \dots \dots \dots (13)$$

Durante el segundo periodo poscrítico, si el mecanismo de transporte de humedad desde el interior del sólido hasta la superficie se realiza por difusión, la velocidad de secado viene dada por:

$$R = \frac{n^2 \gamma D}{4z} (X) \dots\dots\dots (14)$$

Y el tiempo de secado entre las humedades X_1 y X_2 será :

$$t = \frac{4z^2}{n^2 D} \ln \frac{X_1}{X_2} \dots\dots\dots (15)$$

Donde: γ = peso específico del sólido seco, en Kg/m^3
 Z = espesor, en m
 D = difusividad, en m^2/hr .

(OCON, 1980).

2.2.7.7. Influencia del secado sobre la calidad de los alimentos

Durante el secado de un alimento pueden presentarse alteraciones físico-químicas como son: la pérdida de sustancias nutritivas, de textura y forma, de sustancias volátiles, de capacidad de rehidratación, la decoloración, la caramelización, etc. Las características de tales alteraciones dependen de los parámetros del proceso de secado y de las propiedades del alimento (C.E.R., 1991).

Las vitaminas hidrosolubles son parcialmente oxidadas, además de ser disminuidas durante el blanqueado. El ácido ascórbico y el caroteno son dañados por los procesos oxidantes; la riboflavina es ligeramente sensible; la tiamina es sensible al

las vitaminas depende del cuidado ejercido durante la preparación del producto, del proceso de deshidratación seleccionado, del cuidado en su ejecución y de las condiciones de almacenamiento. El secado rápido retiene mayor cantidad de vitamina C (DESROSIER, 1993).

El secado prolongado a altas temperaturas reduce la digestibilidad de las proteínas y la disponibilidad de aminoácidos indispensables; mientras que el secado a temperaturas moderadas puede aumentar la digestibilidad sobre el material nativo y sólo es perjudicial si se realiza en presencia de azúcares reductores (CHEFTEL, 1983; DESROSIER, 1993). Además, el calor y los efectos de la concentración de las sales, que resultan de la eliminación de agua, pueden desnaturalizarse parcialmente las proteínas que después no podrán reabsorber plenamente y ligar el agua (POTTER, 1978).

Durante la deshidratación de frutas y hortalizas la principal degradación se dá en los carbohidratos (DESROSIER, 1993). Las reacciones de "oscurecimiento" o de "pardeamiento" pueden deberse a la oxidación enzimática de los polifenoles, a la reacción de Maillard, a la caramelización de los azúcares, y a la oxidación del ácido ascórbico (FENNEMA, 1993). El oscurecimiento no enzimático (ONE) es propiciado por temperaturas elevadas, alta concentración de grupos reactivos, y algo de agua (POTTER, 1978); siendo la velocidad máxima a una actividad de agua (A_w) de 0.55-0.75 (CHEFTEL, 1988). Las reacciones de ONE modifican desfavorablemente el color, sabor, valor nutritivo (al disminuir la disponibilidad nutricional de los restos de lisina) y a veces también la capacidad de rehidratación; pero, pueden ser inhibidos parcialmente o retrazadas empleando sulfitos (CHEFTEL, 1983). Los sulfitos inhiben el ONE debido a que reaccionan con los compuestos carbonilos (azúcares) y dan sulfonatos (ácidos hidrosulfónicos) (CHEFTEL, 1988).

Si la temperatura de secado es relativamente elevada, el almidón, al gelatinizarse, adsorbe fuertemente el agua dando lugar a la formación de una capa impermeable al vapor de agua, y al pegado de los alimentos entre sí y con las paredes de los equipos (CHEFTEL, 1983). Además, los almidones y gomas pueden sufrir cambios y perder capacidad de rehidratación (POTTER, 1978).

La oxidación de las grasas en los alimentos es mayor a altas que a bajas temperaturas de deshidratación, pero se puede controlar empleando antioxidantes (DESROSIER, 1993).

La deshidratación modifica el color de los alimentos, así los carotenoides y las antocianinas son alterados. Más pigmentos son alterados mientras mayor sea la temperatura y más largo el tratamiento. Los tratamientos con azufre tienden a blanquear los pigmentos de antocianina e inhiben, al mismo tiempo, el oscurecimiento oxidante (DESROSIER, 1993).

La inactivación de enzimas sólo es parcial, ya que éstas son notablemente insensibles al efecto de la energía (DESROSIER, 1993).

Los alimentos deshidratados no son estériles, pues la reducción del número de microorganismos como resultado de la deshidratación es baja. En algunos casos la temperatura de secado favorece el crecimiento de microorganismos (CHEFTEL, 1983).

2.2.8. Molienda

Operación en la que el tamaño medio de los alimentos sólidos es reducido por la aplicación de fuerzas de impacto, compresión o abrasión (FELLOWS, 1994). La trituración (crushing) se refiere al desmenuzamiento de materiales groseros hasta

tamaños del orden de 3 mm, mientras que la molienda a la obtención de productos en polvo. La reducción de tamaño se consigue mediante trituradoras de rodillos, molino de martillos, molino de disco de frotamiento y molinos gravitatorios (de bolas y de barras). La selección de los aparatos depende de las características del producto de alimentación: dureza, abrasividad, untuosidad, temperaturas de ablandamiento o fusión, estructura, peso específico, contenido de agua libre, estabilidad química, homogeneidad y pureza (BRENNAN, 1980).

2.2.9. Tamizado

El tamizado es una operación básica en la que una mezcla de partículas sólidas de diferentes tamaños se separan en dos o más fracciones pasándolas por un tamiz, resultando cada fracción más uniforme en tamaño que la mezcla original; los factores que pueden influir en el grado de separación son: la velocidad de alimentación, el ángulo de inclinación del tamiz, el tamaño de la partícula, la humedad, y la rotura y obturación del tamiz. El tamizado o cribado también se utiliza en el análisis de partículas para determinar el tamaño y la distribución de tamaños de los productos pulverulentos (BRENNAN, 1980).

2.2.9.1. Análisis granulométrico

A fin de conocer el reparto de tamaños se han realizado numerosos estudios tendientes a obtener una ley general (ecuación que liga el reparto de tamaños en función del tamaño), resultando la correlación de Rosin, Rammler y Sperling (RRS) la ley más general, pero pierde validez para partículas extremadamente finas. La expresión matemática de RRS es la siguiente:

$$R = 100.e^{-kx^n} \dots \dots \dots (16)$$

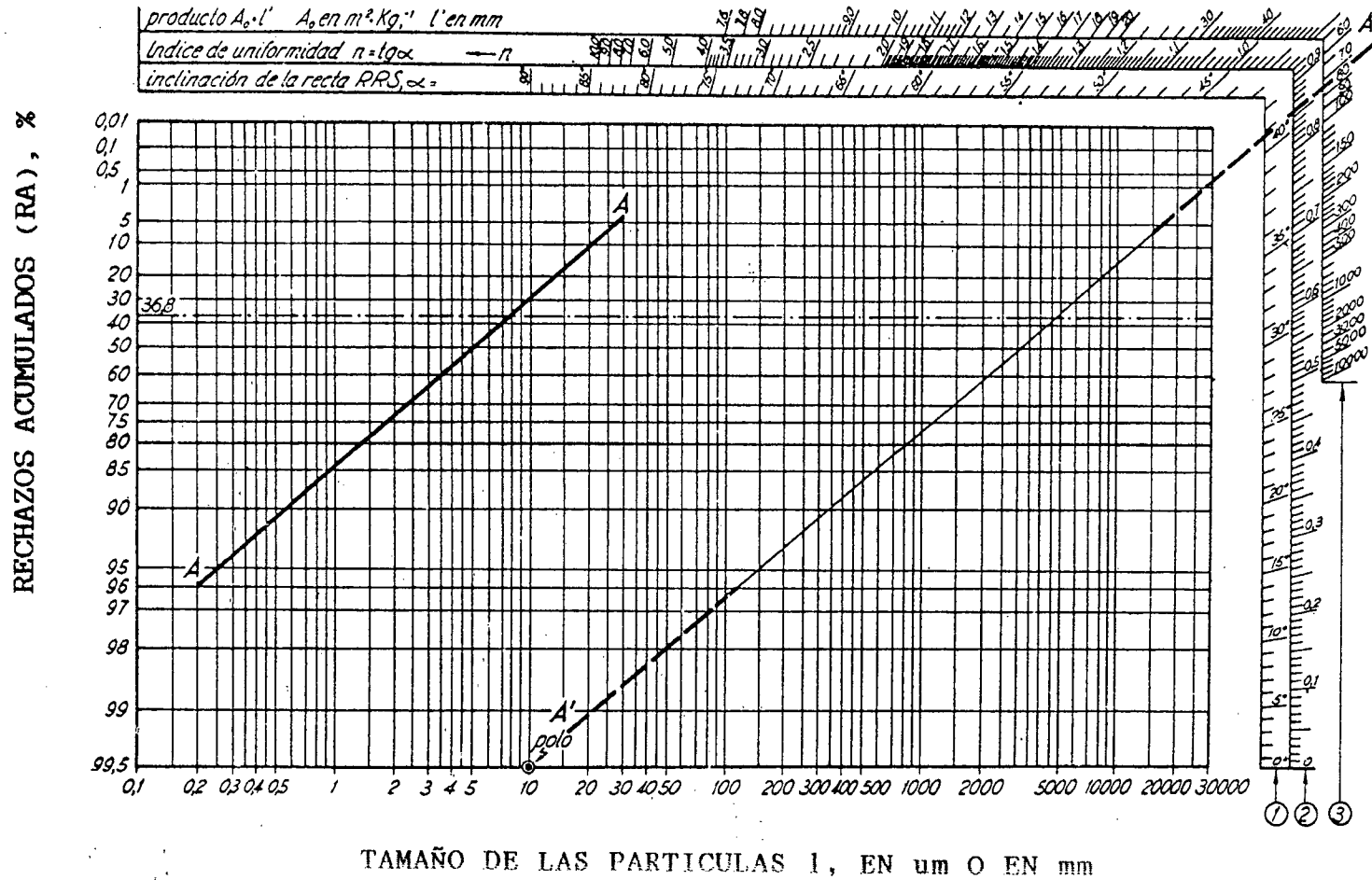
$$\log \ln \frac{100}{R} = n \log l - \log l' \dots \dots \dots (17)$$

- Donde: R = valores de los rechazos acumulados
e = base de los logaritmos naturales
l = tamaños lineales
l' = tamaño medio estadístico (ocurre cuando $\log \ln 100/R = 0$, es decir cuando $R = 36.7879$)
n = índice de uniformidad de tamaños.

Si la muestra estudiada cumple la ley de reparto de tamaños de RRS, se tendrá una recta al graficar $\log \ln 100/R$ Vs. $\log l$ en un gráfico normalizado DIN 4190 para la representación RRS, según la Figura 02. De esta recta, se puede deducir los siguientes parámetros de interés estadístico: el tamaño medio estadístico (l'); el índice de uniformidad (n); el tamaño más frecuente (lf); el intervalo fundamental (T90), indicativo del intervalo de tamaños que comprende al 90% del producto, quedando fuera el 5% más fino y el 5% más grueso; la superficie específica (A_s) (VIAN y OCON, 1979).

Otros parámetros que permiten evaluar la granulometría de una harina son: el módulo de finura (M.F.) obtenido mediante tamizado, y el ángulo de reposo (A.R.) (NIETO, 1977).

FIGURA 02: GRAFICO NORMALIZADO DIN 4190 Y REPRESENTACION RRS DE LA GRANULOMETRIA DE UN PRODUCTO MOLIDO



Fuente: VIAN Y OCON, (1979)

2.2.10. Empacado y almacenamiento

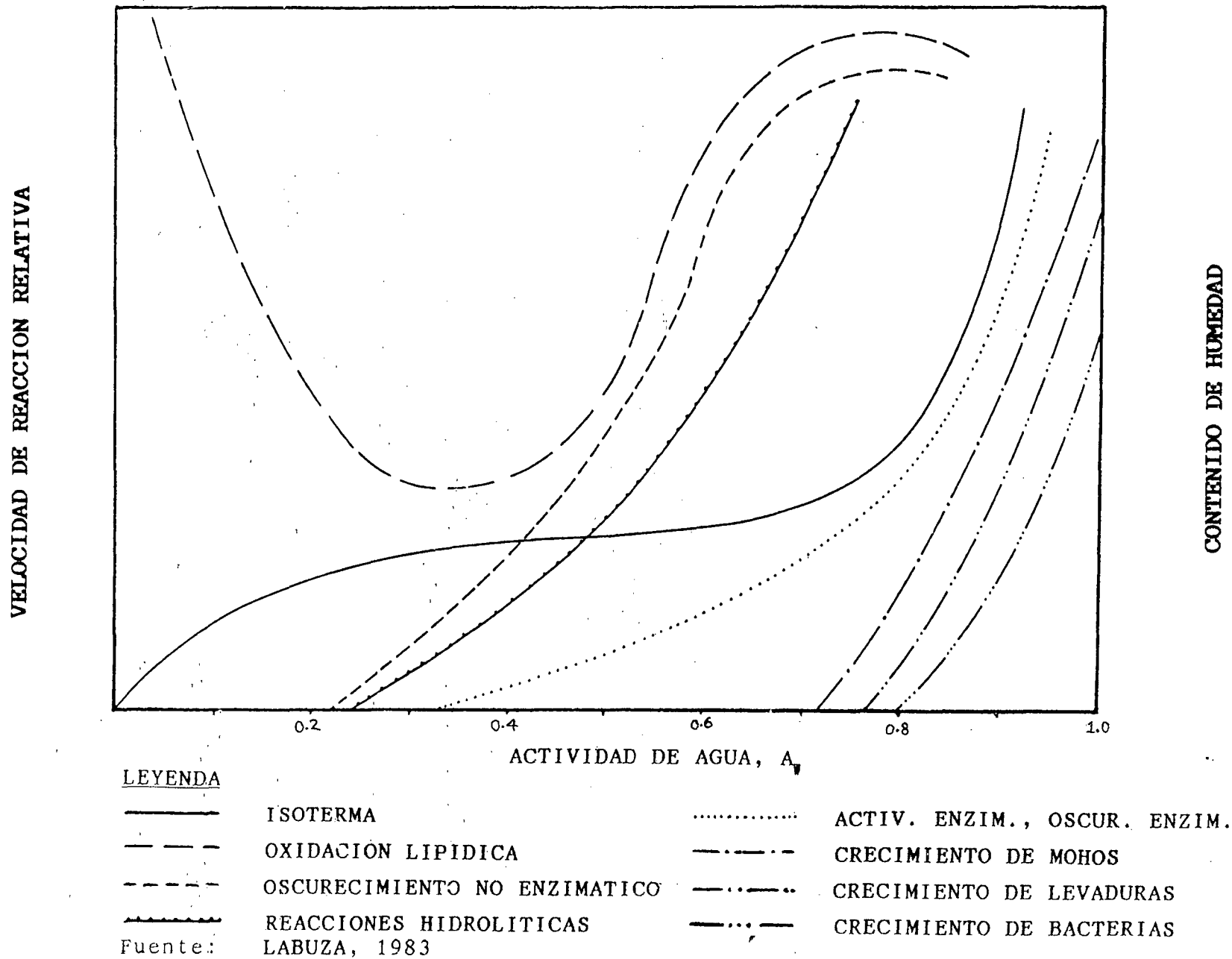
Los alimentos deshidratados son sensibles a los cambios de su entorno y se alteran con el tiempo, siendo el medio ambiente ideal el vacío o el gas inerte en recipientes que impidan el paso de la humedad, los gases y la luz; a estas condiciones la influencia perjudicial sería la exposición prolongada a altas temperaturas, que en los trópicos pueden dar lugar a pardeamiento. En las patatas, la disminución del contenido de azúcares reductores aumenta la vida útil (RANKEN, 1993). Es importante que la temperatura de almacenamiento sea menor de 25°C (CHEFTEL, 1983).

2.2.10.1. Actividad de agua y estabilidad de los alimentos deshidratados

2.2.10.1.1. Factores que afectan la estabilidad

Un importante factor que afecta la estabilidad de los alimentos deshidratados es la actividad de agua (A_w), pues tanto la velocidad de las reacciones químicas como la actividad microbiana están directamente controladas por la A_w (LABUZA, 1985; citado por MENDIETA, 1991). La A_w está más relacionada a las propiedades físicas, químicas y biológicas que el contenido de humedad total. Los cambios específicos en color, aroma, sabor, textura y aceptabilidad de los alimentos, crudos o procesados, están asociados a valores determinados de A_w . (ROCKLAND Y NISHII, 1988; citado por MENDIETA, 1991). La velocidad relativa de deterioro de los alimentos en función de la actividad de agua se presenta en la Figura 03.

FIGURA 03: VELOCIDAD RELATIVA DE DETERIORO DE LOS ALIMENTOS EN FUNCION DE LA ACTIVIDAD DE AGUA





La oxidación de lípidos es una de las mayores causas de deterioro de la calidad de los alimentos deshidratados almacenados; el mecanismo clásico para la oxidación de lípidos es vía el ataque de radicales, siendo el sustrato inicial para la oxidación los lípidos insaturados. El mecanismo de radicales libres es generalmente aceptado como único proceso involucrado en la autooxidación (FENNEMA, 1993). Los productos de oxidación han sido indicados como tóxicos para el hombre, pudiendo originar enfermedades coronarias y cáncer. Al decrecer la A_w la velocidad de oxidación decrece inicialmente, aumentando posteriormente por debajo de la monocapa (KHAYAT Y SCHWALL, 1983; citado por MENDIETA, 1991).

El oscurecimiento no enzimático es una reacción de deterioro que se presenta durante el procesamiento o el almacenamiento de alimentos. En el caso de alimentos deshidratados que contienen ácidos grasos insaturados, el oscurecimiento no enzimático está ligado a la oxidación de lípidos. Las reacciones de ONE se inician a un valor de A_w de 0.4; la velocidad aumenta rápidamente con el aumento de A_w y alcanza un máximo a valores comprendidos entre 0.5 y 0.7 (CHEFTEL, 1988).

Las reacciones enzimáticas están condicionadas muy íntimamente por la A_w . La actividad enzimática cesa por completo a valores de A_w de 0.25-0.30; pero aumenta considerablemente cuando la A_w sobrepasa el valor de 0.7, debido al aumento de la fase acuosa con el consiguiente disolución y difusión del sustrato hacia la enzima. Con la finalidad de evitar los efectos indeseables de la actividad enzimática en los alimentos, se aplican tratamientos que incluyen temperaturas elevadas y/o la adición de productos químicos que inactivan las enzimas (CHEFTEL, 1988).

Los microorganismos deben contender con una amplia gama de elementos que influyen en su crecimiento; factores tales como el pH, presencia o ausencia de oxígeno, de nitritos y temperatura, pueden interactuar fuertemente con la A_w para inhibir a un microorganismo o grupo de microorganismos. El crecimiento de la mayoría de hongos se inhibe si la A_w es menor a 0.7; en cambio las levaduras y bacterias son más sensibles, necesitando para su desarrollo un valor mínimo de 0.95 (TROLLER, 1980; citado por MENDIETA, 1991).

2.2.10.1.2. Isoterma de adsorción de vapor de agua

Una isoterma de sorción es la curva que indica, en el equilibrio y para una determinada temperatura, la cantidad de agua retenida por un alimento en función de la humedad relativa de la atmósfera que le rodea. El conocimiento de esta isoterma, en unión con los datos de la Figura 03, permite preveer el grado de deshidratación más favorable para la estabilidad de un alimento (CHEFTEL, 1988).

A partir de la isoterma respectiva, puede determinarse la humedad de monocapa o valor monomolecular a través de diferentes modelos teóricos. Los modelos G.A.B. (Guggenheim-Anderson-de Boer) y B.E.T. (Brunauer-Emmett-Teller) son los más utilizados en alimentos, siendo la ecuación de G.A.B. el mejor, pues tiene la ventaja al compararla con el modelo B.E.T. en que describe en forma objetiva las isotermas de sorción hasta valores de A_w de 0.9, mientras que el modelo B.E.T. está limitado a A_w de 0.45 (LABUZA, 1985; citado por MENDIETA, 1991).

La ecuación de G.A.B. se presenta de la siguiente forma:

$$\frac{A_w}{X} = c + b A_w + a A_w^2 \dots \dots \dots (18)$$

$$a = (K/X_m) (1/C - 1)$$

$$b = (1/X_m) (1 - 2/C)$$

$$c = (1/X_m C K)$$

- Donde: A_w = actividad de agua
 X = contenido de humedad de equilibrio en base seca
 K = factor de corrección de las propiedades de las moléculas en multicapa con respecto a la masa líquida = $K' \exp(H_1 - H_q) / RT$; H_1 = calor de condensación del vapor de agua pura; H_q = calor total de sorción de la multicapa
 X_m = contenido de humedad de monocapa
 C = constante de Guggenheim = $C' \exp(H_1 - H_m) / RT$; H_m = calor total de sorción de la primera capa.

Los valores de las constantes a , b y c pueden ser establecidos considerando los datos experimentales mediante la regresión cuadrática y X_m por solución del sistema de las tres ecuaciones indicadas, sin considerar la solución negativa de la ecuación de segundo grado por su imposibilidad física (ALVARADO, 1990).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCION

El presente trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto, durante los meses de Mayo - Octubre de 1996.

3.2. MATERIA PRIMA E INSUMOS

Como materia prima se utilizó tubérculos de papa aérea "Ñame Congo" (*Dioscorea bulbifera* L.), procedentes del campo experimental del Sub-programa de Recuperación de Suelos Acidos de la Fundación para el Desarrollo Agrario del Alto Mayo-FUNDAAM, ubicado en el Distrito de Caizada, Provincia de Moyobamba, Departamento de San Martín-Perú.

Se emplearon los siguientes insumos:

- Soda Caústica comercial.
- Bisulfito de sodio comercial.

3.3. EQUIPOS Y MATERIALES

- Secador de bandejas, marca Memmert, circulación de aire por convección forzada, flujo paralelo, tipo ULE 600, T° máxima 220°C, Germany.
- Molinomanual, marca Corona.
- Tamizador vibratorio Soiltest Inc., mallas ASTM E-11, England.



- Selladora de bolsas plásticas.
- Centrífuga Damon/Iec División, modelo HN./SII, 1/7 HP, Máximo 9000 RPM., U.S.A.
- Autoclave Hirayama Manufacturing Corporation, N° 850397005, presión máxima 4 Kg/cm², Japan.
- Espectrofotómetro digital KϕK-3, N9206492, Sensibilidad 0.001, U.R.S.S.
- Digestor Büchi para proteínas, tipo B-425, Suecia.
- Destilador Selecta para proteínas, modelo 627, U.S.A.
- Microscopio binocular Riechter, modelo N° 308774, Austria.
- Mufla Thermolyne 1500, modelo FD1520M-1, T° máxima 1200°C, U.S.A.
- Bomba para vacío Gast-Mfg. Corp., modelo N° 0211-U4SM-6218C, U.S.A.
- Estufa Memmert, tipo U80, T° máxima 254°C, Germany.
- Baño maría Memmert, tipo W-350, T° máxima 100°C, Germany.
- Balanza digital Sartorius GmbH Göttingen, tipo 1601A MP8-1, capacidad 110 g, exactitud 0.1 mg, Germany.
- Balanza digital Denver Instrument Company, AA-200, capacidad 210 g, exactitud 0.1 mg, U.S.A.
- Balanza de triple barra Ohaus, capacidad 2610 Kg, exactitud 0.1 g, U.S.A.

- Potenciómetro Hanna Instruments, modelo HI 9318, pH: 0-14, mv±1999, programable, U.S.A.
- Agitador magnético Nouva II, modelo N° 518520-26, U.S.A.
- Cocina eléctrica Fisher, modelo 200M, T° máxima 600°C.
- Licuadora marca Oster.
- Equipo de filtrado (matraz kitazato, embudo buchner).
- Extractor Soxhlet.
- Tamices ASTM E-11, N° 80 y N° 100.
- Campanas desecadoras de vidrio.
- Psicrómetros de bulbo seco y bulbo húmedo, T° máxima 75°C.
- Viscosímetro capilar Ubbelohde N° 3, Cole-Parmer International, máximo 1000 cst, U.S.A.
- Termómetros (-10 a 110°C).
- Cono standard (adaptado) para la determinación del ángulo de reposo de la harina.
- Embudo standard (adaptado) para la determinación de la característica de flujo de la harina en suspensión.
- Cuchillo de acero inoxidable.
- Cortadora manual tipo "chiflera", con cuchilla de acero inoxidable.

- Fibra limpiadora Mortimer.
- Materiales de vidrio y reactivos específicos para cada método de análisis.

3.4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para la obtención de harina de papa aérea (*Dioscorea bulbifera* L.) se siguió el flujograma preliminar que se muestra en la Figura 04, cuyas pruebas experimentales se describen en cada una de las siguientes etapas:

- **Materia prima**

La materia prima estuvo constituida por bulbos o tubérculos aéreos de *Dioscorea bulbifera* L., los mismos que fueron cosechados a 250 días de instalado el cultivo, es decir faltando 30-36 días para alcanzar la senescencia (madurez óptima). Estos presentaron diferentes formas y tamaños (Figura 05), abundantes lenticelas, córtex de color verde y pulpa (parénquima + médula) predominantemente violácea (Figura 06).

- **Selección**

Esta operación se realizó en forma manual y consistió en separar tubérculos en grupos con diferentes características de calidad, basado en el tamaño, forma y carencia de defectos; destinándose para el proceso aquellos de tamaño uniforme, forma arrifionada y libres de podredumbre y magulladuras. Se descartaron los tubérculos de forma irregular, por dificultar las etapas de lavado y pelado, y aquellos de tamaño grande y pequeño, debido a que el tamaño es uno de los factores que determinan el tiempo de cocción.

- **Lavado**

Se realizó en forma manual sometiendo los tubérculos a inmersión en agua fría, empleando una relación tubérculo:agua de 1:3 (P:V) y frotándolos con fibra limpiadora Mortimer, con el fin de eliminar las impurezas adheridas al producto y reducir la carga microbiana. La operación fue facilitada por la escasa contaminación de los tubérculos, básicamente por partículas de epidermis y algunas hojas impregnadas.

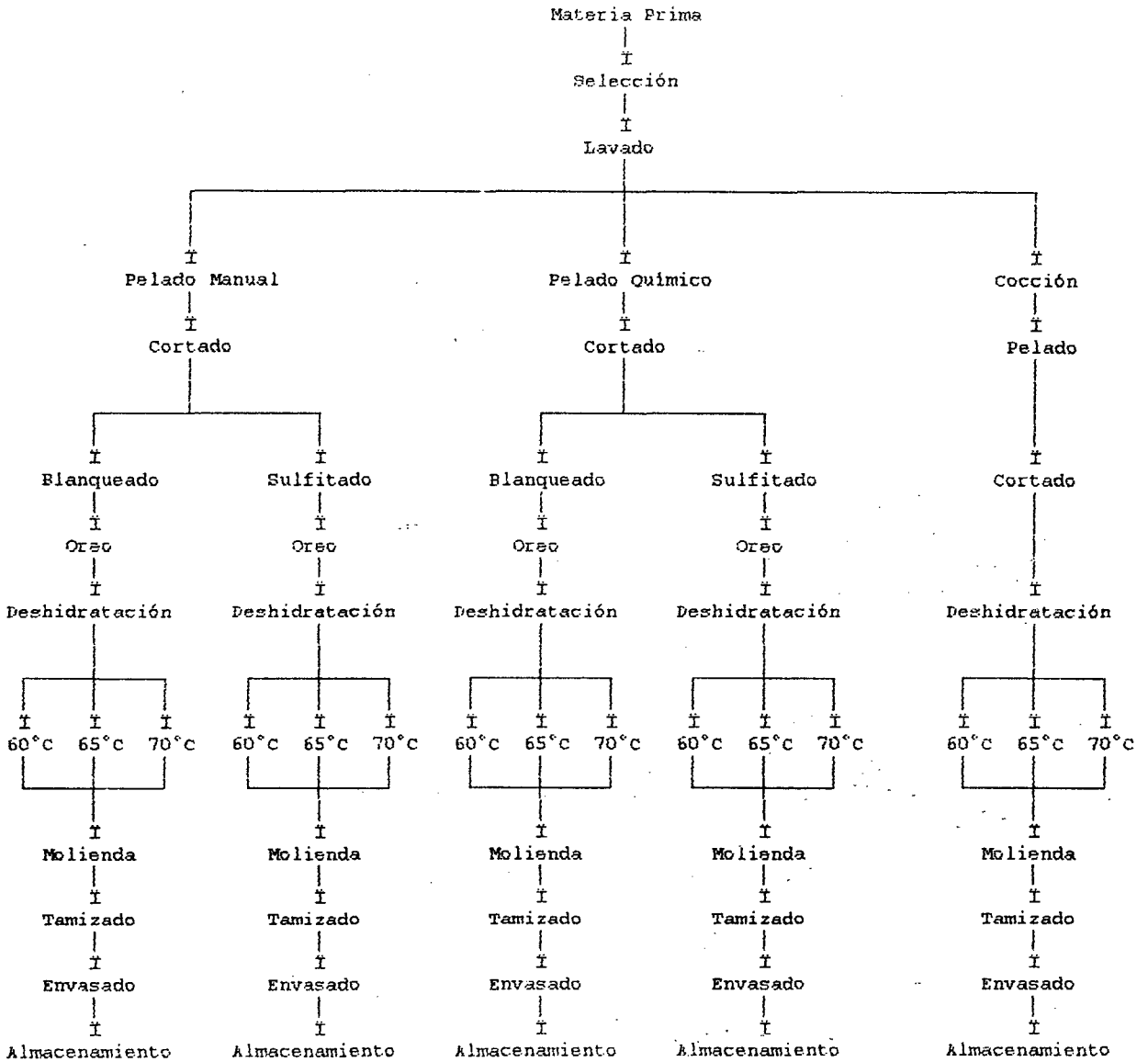
- **Pelado**

Se ensayaron tres (03) tipos de pelado: manual, químico y por cocción, con el fin de determinar el método de mayor eficiencia:

El pelado manual se realizó con la ayuda de un cuchillo de acero inoxidable, lográndose eliminar por completo la corteza de color verde.

El pelado químico se realizó sumergiendo los tubérculos en una solución de soda caústica comercial a temperatura de ebullición (98°C), experimentándose concentraciones de 3, 4, 5 y 6% y tiempos de 2, 3, 4 y 5 minutos a una relación tubérculo:soda de 1.0:1.5 (P:V); luego los tubérculos fueron sometidos a un chorro de agua fría y lavados minuciosamente con la ayuda de una fibra Mortimer, con el fin de remover la cáscara y la soda caústica de la superficie externa. Para determinar la concentración y tiempo óptimos se realizaron las siguientes evaluaciones: eficiencia del pelado (grado de remoción a la epidermis y lenticelas), soda caústica residual en la superficie externa y penetración de soda caústica en la pulpa (cocción exterior de la pulpa).

FIGURA 04: DIAGRAMA DE FLUJO PRELIMINAR PARA LA OBTENCION DE HARINA DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.)



El pelado de los tubérculos cocidos se realizó en forma manual, lográndose eliminar por completo la epidermis y las lenticelas. La cocción de los tubérculos se realizó en agua hirviendo a presión atmosférica, experimentándose tiempos de 30, 35, 40, 45, 50, 55 y 60 minutos, a una relación tubérculo:agua de 1.0:2.0 (P:V). El tiempo óptimo fue establecido en base a pruebas de actividad enzimática (prueba de la peroxidasa) y de pérdida de vitamina C (ácido ascórbico).

- **Cortado**

Mediante esta operación los tubérculos fueron subdivididos en rodajas de aproximadamente 3 mm de espesor, empleando una cortadora tipo "chiflera" con cuchilla de acero inoxidable, con el fin de acelerar la deshidratación al proporcionar más superficie de contacto con el medio de calentamiento y reducir la distancia que el calor tiene que recorrer hasta el centro del alimento.

- **Blanqueado**

A esta operación sólo fueron sometidas las rodajas obtenidas mediante pelado manual y químico, con la finalidad de evitar el oscurecimiento enzimático, fijar y conservar el color, reducir la carga microbiana y acelerar el secado por rotura de las células; experimentándose las siguientes variables de estudio: tiempos de escaldado de 1, 2, 3, 4 y 5 minutos en agua a temperatura de ebullición; a una relación rodaja:agua de 1.0:1.5(P:V). Para determinar el tiempo óptimo se efectuaron pruebas de actividad enzimática (prueba de la peroxidasa) y de pérdida de vitamina C (ácido ascórbico).

- **Sulfitado**

Con la finalidad de evitar el oscurecimiento enzimático y no enzimático y la proliferación de microorganismos durante la elaboración y el almacenamiento posterior del producto, las rodajas obtenidas mediante pelado manual y químico fueron sumergidas por 5 minutos en una solución de bisulfito de sodio a concentraciones de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5%, empleando una relación rodaja:bisulfito de sodio 1.0:1.5 (P:V). Para establecer el efecto de la concentración de bisulfito de sodio, las rodajas sulfitadas fueron comparadas con el color de la pulpa fresca y analizadas en cuanto a sulfito residual (expresado como SO_2), luego de ser deshidratadas a $60^\circ C$ y molidas.

- **Oreo**

Consistió en extender las rodajas blanqueadas y sulfitadas sobre una malla de nylon por 10 minutos a condiciones ambientales, con el propósito de eliminar y equilibrar la humedad de la superficie de las rodajas.

- **Deshidratación**

Esta operación se efectuó en un secador de bandejas con circulación de aire por convección forzada y flujo paralelo, a una velocidad de 4.90 m/s (determinada mediante predicción del coeficiente de transferencia de calor para el período de secado a velocidad constante). Las pruebas de deshidratación se realizaron a temperaturas de 60, 65 y $70^\circ C$, hasta humedades cercanas al equilibrio (aproximadamente 7%) y con tiempos variables como se aprecia en el Cuadro 18. Para la deshidratación las muestras fueron sometidas a los pre-tratamientos que se indican en el Cuadro 06.

CUADRO 06: PRETRATAMIENTOS APLICADOS A LOS TUBERCULOS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.) ANTES DE LA DESHIDRATACION

| MUESTRA | PRE-TRATAMIENTOS |
|---------|-----------------------------|
| 1 | Pelado manual - blanqueado |
| 2 | Pelado manual - sulfitado |
| 3 | Pelado químico - blanqueado |
| 4 | Pelado químico - sulfitado |
| 5 | Pelado por cocción |

En cada prueba se emplearon dos bandejas, cada una con 2 Kg de carga y 0.3658 m² de área, realizándose controles periódicos de peso sobre un grupo de 10 rodajas, utilizando una balanza digital Denver con una exactitud de 0.1 mg.

Las curvas de deshidratación se graficaron a la temperatura óptima de secado.

- **Molienda**

Las muestras deshidratadas fueron trituradas en un molino tipo sin fin, marca Corona y de accionamiento manual.

- **Tamizado**

Esta operación se realizó en forma manual empleando un tamiz ASTM E-11 N° 100. Los rechazos fueron nuevamente molidos y tamizados con el fin de incrementar el rendimiento.

- **Envasado**

Se realizó en forma manual empleando bolsas de polietileno de alta densidad y una selladora eléctrica semi automática, con la finalidad de garantizar la estabilidad del producto durante el almacenamiento.

- **Almacenamiento**

Esta operación se realizó a condiciones ambientales (73% de H.R. y 27.75°C, en promedio) durante 60 días, ejecutándose controles químicos y microbiológicos sólo en la harina obtenida siguiendo el diagrama de flujo óptimo.

3.5. METODOS DE ANALISIS

Para evaluar la bondad del diagrama de flujo preliminar se emplearon los siguientes métodos de análisis.

3.5.1. De la materia prima

3.5.1.1. Análisis físico

a. **Biometría**, tomando medidas de peso y tamaño (longitud, ancho y altura) de un grupo de 100 tubérculos elegidos al azar; la forma se determinó por similitud de éstas con objetos de forma conocida.

b. **Color externo e interno**, por comparación directa con los estándares de color de **RIDWAY** (1912).

c. **Densidad**, según el método citado por **MARTINEZ** (1988).

d. **Pérdida de peso durante el almacenamiento**, registrando en forma periódica (cada 5 días) el peso de un grupo de 20 tubérculos expuestos a condiciones ambientales bajo sombra, con la finalidad de determinar el porcentaje de pérdida de peso que la materia prima puede experimentar al no ser procesada inmediatamente.

3.5.1.2. Análisis químico

a. Análisis proximal

- **Humedad**, por el método de secado en estufa a 105°C y a presión atmosférica, hasta peso constante (A.O.A.C., 1970).

- **Proteína total**, por el método semi-micro Kjeldahl (%N*6.25) (A.O.A.C., 1970).

- **Grasa total**, por el método Soxhlet, empleando hexano como solvente (A.O.A.C., 1970).

- **Cenizas totales**, por incineración de la muestra en mufla a 550°C durante 24 horas (A.O.A.C., 1970).

- **Fibra bruta**, por el método Henneberg (ó gravimétrico) mediante hidrólisis ácido-alcalina (A.O.A.C., 1970).

- **Carbohidratos**, por diferencia de peso.

b. Azúcares reductores

En forma de glucosa, mediante el método D.N.S. (Acido 3,5-Dinitro salicílico) (SOTO, 1991).

c. Acido ascórbico

Mediante espectrofotometría, por reducción del colorante 2,6-Diclorofenolindofenol (D.A.C., 1990).

d. Mucílagos

Por el método de precipitación con acetato neutro de plomo (ZEVALLOS, 1985).

e. **Compuestos tóxicos**

- **Oxalato de calcio**, por el método de Weberhell y Smith, citado por **LOAYZA** (1981).

- **Acido cianhídrico libre y combinado**, por el método de valoración con nitrato de plata (**EVANS**, 1995).

- **Saponinas**, por el método de hidróxido de bario (**ZEVALLLOS**, 1985).

3.5.2. Del almidón

a. **Determinación**, mediante hidrólisis en reflujo de 5 g de tubérculo deshidratado en 100 ml de H_2SO_4 al 2% durante 4 hr; la cantidad de almidón es establecida por diferencia entre el contenido de azúcares reductores del hidrolizado y de la materia prima (**KIBUUKA**, 1983).

b. **Aislamiento**, según el procedimiento descrito por **GIACOMETTO** (1987).

c. **Morfología de los gránulos**, empleando microscopio bajo luz normal a 400 X (**GIACOMETTO**, 1987).

d. **Tamaño de los gránulos**, según el procedimiento desarrollado en el presente trabajo. Consistió en mezclar una gota de solución de almidón al 0.2% con otra de sangre, observar en el microscopio y determinar las veces que un glóbulo rojo, de 7.5 μm en promedio, hace el tamaño de un gránulo de almidón.

e. **Afinidad al yodo**, para establecer el contenido de amilosa, mediante el método potenciométrico, citado por **LOAYZA** (1981).

f. **Temperatura de gelatinización**, según la técnica desarrollada en el presente trabajo. Se basa en la capacidad de la fracción lineal del almidón (amilosa) de absorber yodo y la liberación del mismo por calentamiento. Consistió en tratar 100 ml de suspensión de almidón al 2% con 0.35 ml de solución de yodo a 1%, calentar y determinar las temperaturas a las que se producen los cambios de color. El inicio de la gelatinización está dado a la temperatura en que la suspensión (inicialmente azul intensa) empieza a cambiar de color. Al finalizar la gelatinización (temperatura final) el color desaparece por completo.

g. **Viscosidad**, empleando viscosímetro capilar, según **AGUIRRE** (1992).

3.5.3. Durante el proceso de obtención de harina

a. **Actividad enzimática**, mediante prueba de la peroxidasa, citado por **MARTINEZ** (1988).

b. **Hidróxido de sodio residual**, mediante prueba de la fenolftaleína (**RIVERA**, 1972).

c. **pH y acidez titulable**, según el procedimiento, citado por **MARTINEZ** (1988).

d. **Azúcares reductores y ácido ascórbico**, según los métodos indicados en 3.5.1.2.b y 3.5.1.2.c, respectivamente.

e. **Sulfito residual**, según la técnica descrita por **PEARSON** (1986).

3.5.4. Del producto final

3.5.4.1. Análisis sensorial

3.5.4.1.1. Prueba de ordenamiento o de Ranking

Mediante esta prueba se evaluaron los atributos color, olor y textura de las harinas, empleando 10 jueces semientrenados y la escala de calificación 1-5 (mejor-peor atributo, respectivamente), según el formato que se muestra en el Anexo 02. Para establecer la mejor harina, los resultados, luego de ser transformados según los valores de Fisher y Yates, fueron sometidos a Análisis de Varianza (ANVA) y Prueba de Tukey, a un nivel de significancia del 5%, según ANZALDUA (1994). Las evaluaciones se realizaron, por separado, para harinas deshidratadas a 60, 65 y 70°C.

3.5.4.1.2. Prueba de preferencia

Las harinas seleccionadas mediante la Prueba de Ordenamiento fueron evaluadas en cuanto al grado de preferencia, empleando 10 jueces semi-entrenados y la escala de calificación 1-3 (mayor-menor preferencia, respectivamente), según el formato que se muestra en el Anexo 08. Para determinar la harina de mayor preferencia, los resultados fueron sometidos a ANVA y Prueba de Tukey, a un nivel de significancia del 5%.

3.5.4.2. Análisis físico

a. **Peso específico**, según el procedimiento citado por MENDIETA (1991).

b. **Granulometría**, mediante dos métodos: módulo de finura (obtenido por tamizado de 100 g de harina, durante 5 minutos, en

un tamizador vibratorio con tamices A.S.T.M. E-11) y ángulo de reposo, citado por NIETO (1977).

c. **Isoterma de adsorción**, por el método de Stitt a 37°C, empleando soluciones saturadas para lograr la humedad relativa (H.R.) adecuada en cada ambiente, citado por MENDIETA y MEDINA (1994).

d. **Valor monomolecular**, aplicando los modelos G.A.B. (Guggenheim-Anderson-de Boer) y B.E.T. (Brunauer-Emmett-Teller) a los datos obtenidos de humedad de equilibrio (ALVARADO, 1990).

3.5.4.3. Análisis químico

Análisis proximal, azúcares reductores, ácido ascórbico, mucílagos y compuestos tóxicos (excepto sulfito residual), mediante los métodos empleados en el análisis químico de la materia prima; almidón, según el procedimiento descrito en 3.5.2.a.; pH y acidez titulable, según el método citado en 3.5.3.c.; sulfito residual, mediante la técnica indicada en 3.5.3.e.

3.5.4.4. Análisis microbiológico

a. **Gérmenes aerobios viables**, por el método de recuento de placas, empleando Agar Plate Count como medio de cultivo, citado por MARTINEZ (1995).

b. **Coliformes totales**, por el método del Número Más Probable, utilizando como medio de cultivo Caldo Lactosado Bilis Verde Brillante, citado por MARTINEZ (1995).

c. **Mohos y levaduras**, por el método de recuento en placas, empleando Oxitetraciclina Glucosa Agar (OGA) como medio de cultivo, citado por MARTINEZ (1995).

3.5.4.5. Análisis reológico

- a. Característica de flujo e índice de absorción y solubilidad, según el método del Instituto de Investigaciones Tecnológicas de Colombia, citado por NIETO (1977).
- b. Viscosidad, según el método indicado en 3.5.2.g.

3.5.5. Durante el almacenamiento

- a. Humedad y azúcares reductores, según los métodos indicados en 3.5.1.2.a. y 3.5.1.2.b., respectivamente.
- b. Compuestos melanoidinos, expresados como absorbancia a 420 nm de los compuestos solubles en etanol al 80%, según el procedimiento citado por MENDIETA (1991).
- c. pH y acidez titulable, según el procedimiento citado en 3.5.3.c.
- d. Análisis microbiológico, según los métodos citados en 3.5.4.4, luego de 60 días de almacenamiento a condiciones ambientales.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. DE LA MATERIA PRIMA

4.1.1. Análisis físico

4.1.1.1. Biometría

El análisis biométrico de los tubérculos estuvo referido a la determinación de peso, tamaño y forma, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 07.

CUADRO 07: BIOMETRIA COMPARATIVA DE LOS TUBERCULOS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.)

| PARAMETRO | FUENTE | | | |
|----------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|--------------|
| | TUBERCULOS ESTUDIADOS* | KIBUUKA, 1983 | ZEVALLOS, 1995 | JUAREZ, 1995 |
| PESO, g | 175.16 | 450 | 50 - 1000 | - |
| TAMAÑO: | | | | |
| - Longitud, cm | 10.38 | - | - | 8 - 21 |
| - Ancho, cm | 5.90 | - | - | 5 - 8 |
| - Altura, cm | 4.12 | - | - | - |
| FORMA | Irregular, por lo general arriñonada | Irregular: reniforme, hepatiforme poliédrica | Irregular, por lo general arriñonada | - |

* Valor promedio de 100 tubérculos.

En el cuadro se observa que los tubérculos estudiados registraron un peso promedio de 175.16 g, el cual se ubica en el rango 50-1000 g determinado por **ZEVALLOS** (1985) y por debajo del valor promedio citado por **KIBUUKA** (1986). En cuanto al tamaño, midieron en promedio 10.38 cm de largo, 5.90 cm de ancho y 4.12 cm de altura; estos valores caen en el rango determinado por **JUAREZ** (1995). Por lo general, presentaron forma arriñonada aunque también se identificaron tubérculos de forma y con

superficie irregular, tal como se muestra en la Figura 05, coincidiendo con lo descrito por **KIBUUKA** (1983) y **ZIVALLOS** (1995).

4.1.1.2. Color

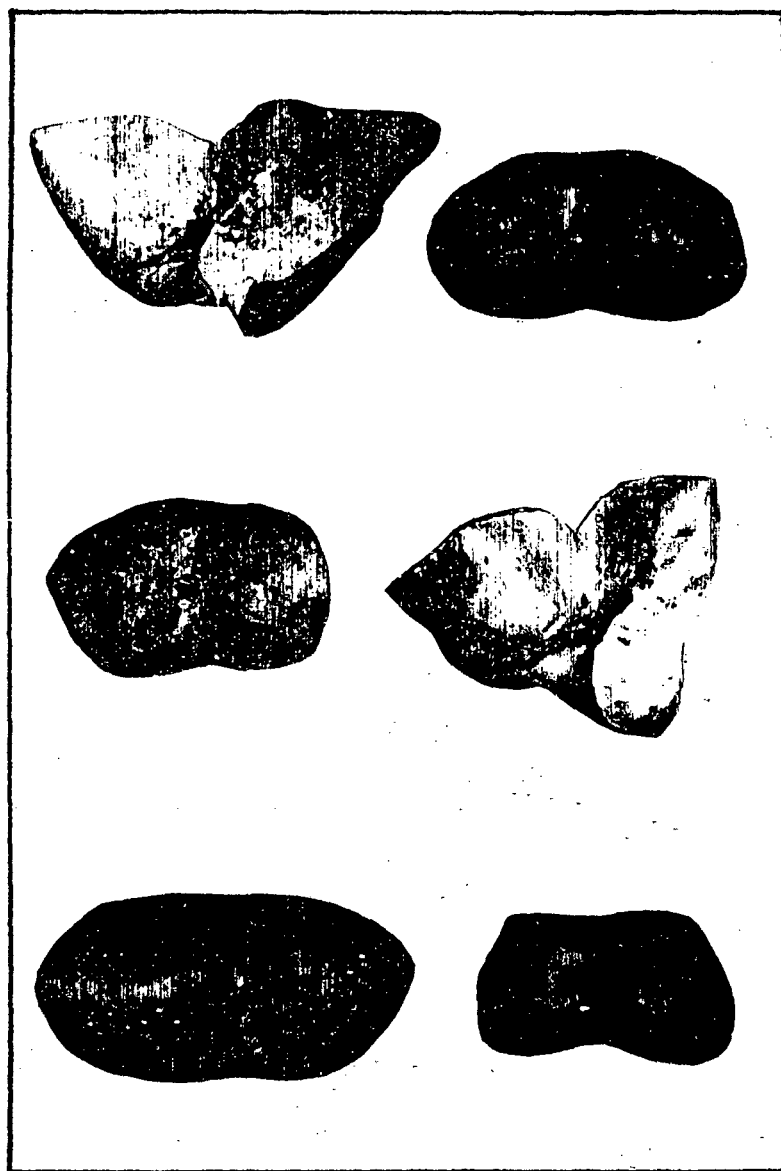
En el Cuadro 08 se presenta el color de la superficie externa y de la estructura interna de los tubérculos de papa aérea (*Dioscorea bulbifera* L.), determinado por comparación directa con los Colores Estándares de **RIDWAY** (1912). Para dicho análisis los tubérculos fueron cortados longitudinalmente, tal como se ilustra en la Figura 06.

En este cuadro se observa que el color externo coincide con el color marron claro mencionado por **JUAREZ** (1995). En cuanto a la estructura interna, el color del córtex y de la pulpa (parénquima de reserva + médula) están de acuerdo con lo descrito por **LEON** (1986), quien reporta colores verdoso y violáceo, respectivamente, para cultivares africanos de *D. bulbifera* L. que son los más expandidos en América Tropical.

4.1.1.3. Densidad

Este parámetro alcanzó un valor promedio de 1.0312 g/cm³, resultando ligeramente superior a 1.0189 g/cm³ para el ñame blanco (*Dioscorea rotundata* Poir), según **AKORODA** (1987).

FIGURA 05: FORMAS DE LOS TUBERCULOS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.)



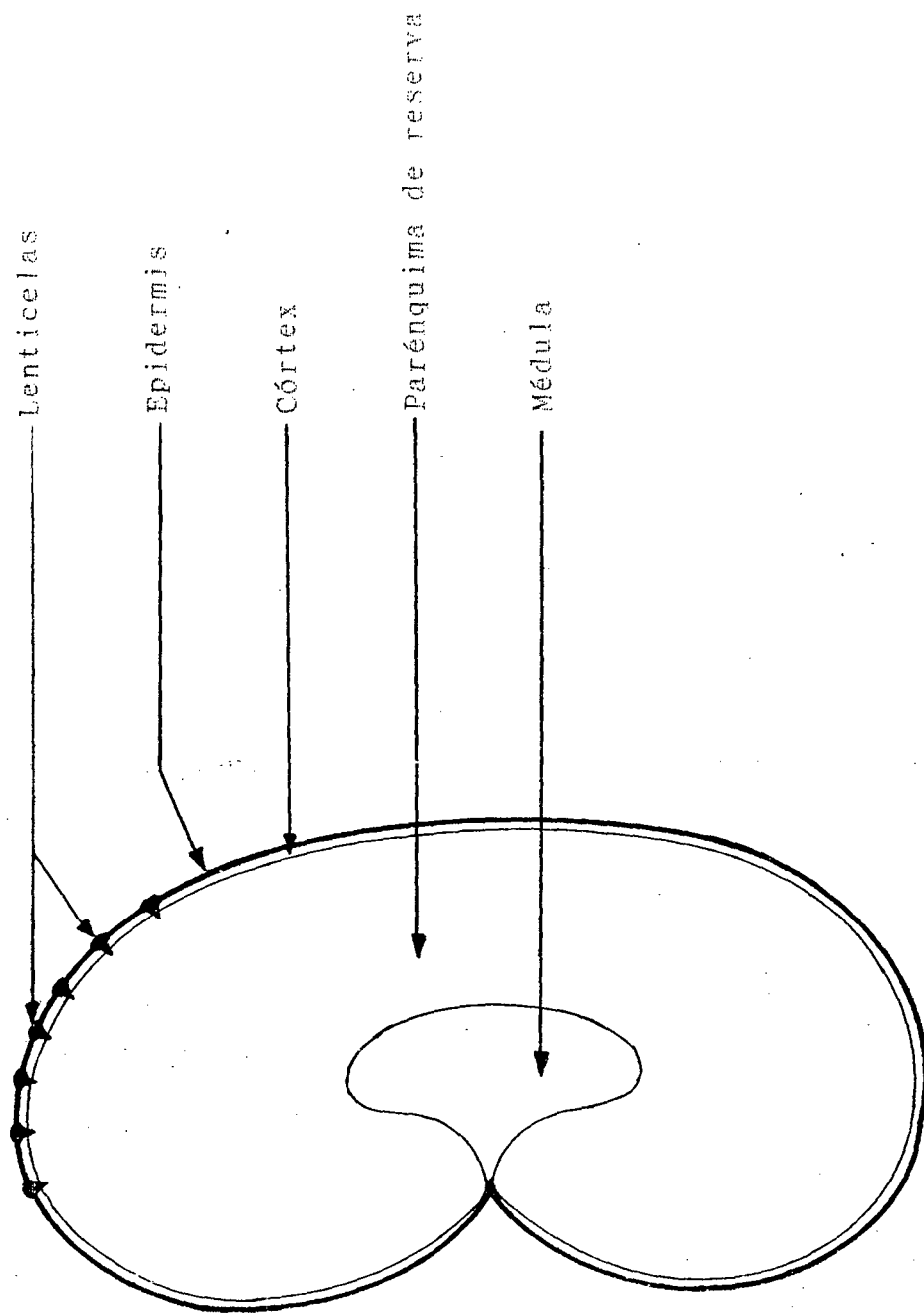
CUADRO 08: COLOR EXTERNO E INTERNO DE LOS TUBERCULOS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.) SEGUN ESTANDARES DE COLOR DE RIDWAY (1912)

| ESTRUCTURA | C O L O R | | | |
|--------------------------|--|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| | DE | | A | |
| | PLATE | TRADUCCION APROXIMADA | PLATE | TRADUCCION APROXIMADA |
| EXTERNA Epidermis | XV(K,17'.O-Y) Dresden Brown | Marrón de Dresden | | |
| INTERNA Córtex | VI(K,31.Y-G) Parrot Green | Verde Loro | VI (K,33.GY-G) Grass green | Verde Hierba |
| Parénquima de reserva | XXXVII (f,61".VR-V) Pale Lobelia Violet | Violeta Lobelia Pálido | XXXVI (f,59".VIOLET) Lavender | Púrpura Pálido |
| Médula | XVI(d,19'.YO-Y) Naples Yellow | Amarillo Débil | XV(b,17'.O-Y) Antimony Yellow | Amarillo Antimonio |

4.1.1.4. Pérdida de peso durante el almacenamiento

Los tubérculos de papa aérea (*Dioscorea bulbifera* L.) fueron almacenados a granel a condiciones ambientales bajo sombra durante 180 días, cuyo comportamiento del peso de los mismos se muestra en la Figura 07 (graficada empleando los datos del Cuadro 09) y la temperatura y humedad relativa de almacenamiento en el Cuadro 10.

FIGURA 06: CORTE LONGITUDINAL DE UN TUBERCULO DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.) Y SUS PARTES



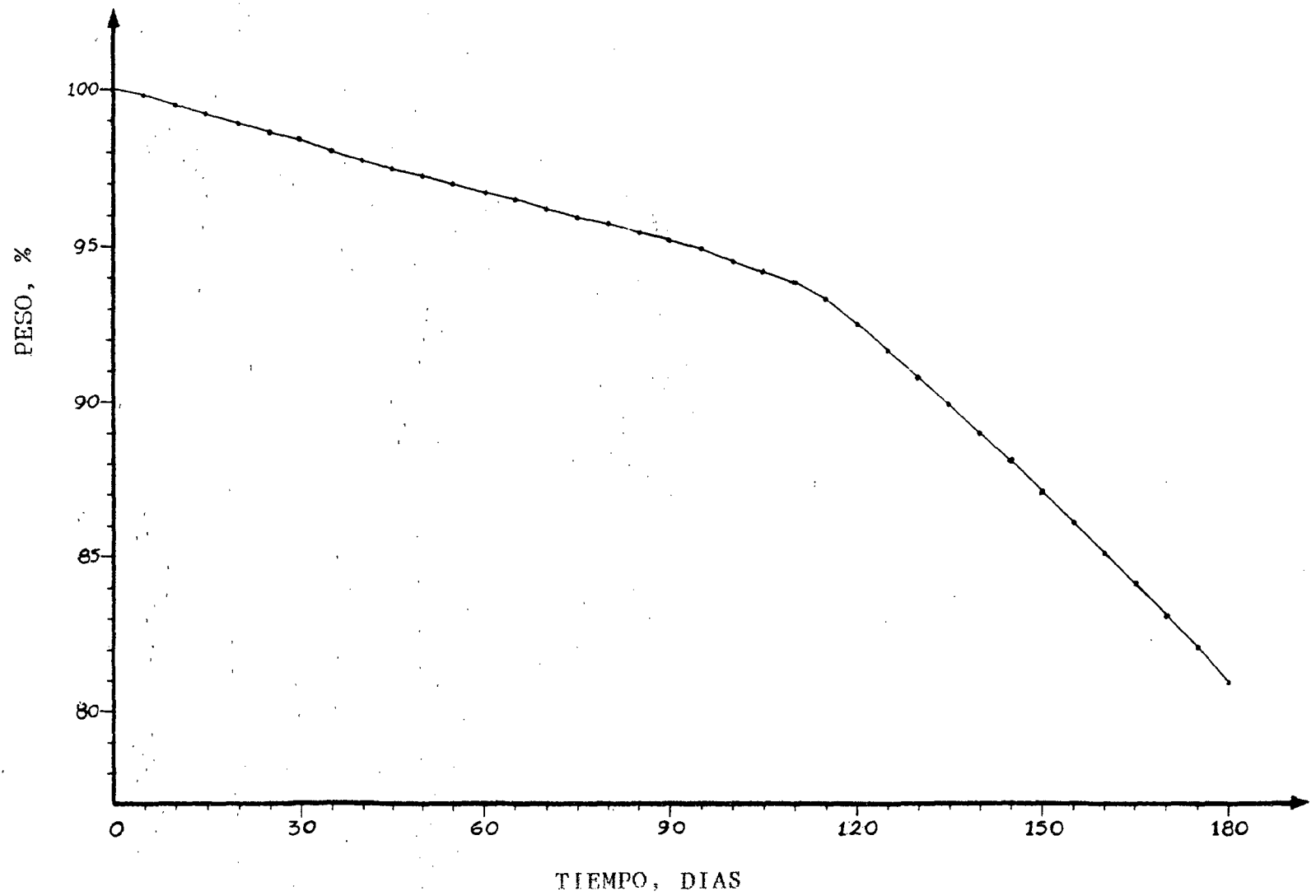
En la figura se observa que durante los primeros 115 días el peso decreció en forma lenta y lineal, registrándose pérdidas de 1.60, 3.33, 4.85 y 6.69% a 30, 60, 90 y 115 días, respectivamente; este periodo corresponde a la fase de letargo o de dormancia natural, durante el cual los ñames (*Dioscorea spp*) pueden almacenarse sin germinación aproximadamente 4 meses a temperaturas normales de 25-35°C (U.N.I.F.E.M., 1993). La germinación se inició a los 115 días y aumentó paulatinamente al igual la pérdida de peso, el descenso de la firmeza y el arrugamiento de los tubérculos, registrándose pérdidas de peso de 7.48, 12.93 y 19.09% a 120, 150 y 180 días respectivamente, debido a la germinación y deshidratación. La pérdida de peso de 19.09%, alcanzada a 180 días de almacenamiento, se halla en el rango 13.20-33.40%, determinado por **EZEIKE** (1984) para tubérculos de *D. rotundata* almacenados durante 6 meses a 25°C, y por debajo de los valores reportados por **TRECHE** (1996) para tubérculos de *D. rotundata* y *D. dumetorum*. Esto indica que los tubérculos de papa aérea (*D. bulbifera* L.) tienen buenas propiedades para el almacenamiento a las condiciones ambientales citadas, lo cual facilitaría el aprovechamiento posterior sin riesgo de deterioro, toda vez que este producto es cosechado una vez al año.

CUADRO 09: VARIACION DE PESO DE LOS TUBERCULOS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.) DURANTE EL ALMACENAMIENTO A CONDICIONES AMBIENTALES BAJO SOMBRA

| T I E M P O (Días) | P E S O (%) |
|--------------------|-------------|
| 0 | 100.00 |
| 5 | 99.80 |
| 10 | 99.51 |
| 15 | 99.20 |
| 20 | 98.95 |
| 25 | 98.62 |
| 30 | 98.40 |
| 35 | 98.08 |
| 40 | 97.74 |
| 45 | 97.44 |
| 50 | 97.20 |
| 55 | 96.95 |
| 60 | 96.67 |
| 65 | 96.46 |
| 70 | 96.18 |
| 75 | 95.90 |
| 80 | 95.67 |
| 85 | 95.40 |
| 90 | 95.15 |
| 95 | 94.86 |
| 100 | 94.51 |
| 105 | 94.15 |
| 110 | 93.82 |
| 115 | 93.31 |
| 120 | 92.52 |
| 125 | 91.63 |
| 130 | 90.80 |
| 135 | 89.91 |
| 140 | 89.00 |
| 145 | 88.09 |
| 150 | 87.06 |
| 155 | 86.08 |
| 160 | 85.09 |
| 165 | 84.07 |
| 170 | 83.09 |
| 175 | 82.11 |
| 180 | 80.91 |

FIGURA 07:

COMPORTAMIENTO DEL PESO DE LOS TUBERCULOS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.) DURANTE EL ALMACENAMIENTO A CONDICIONES AMBIENTALES BAJO SOMBRA



CUADRO 10: TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE LA CIUDAD DE TARAPOTO-REGION SAN MARTIN DURANTE LOS MESES DE MAYO A OCTUBRE DE 1996

| MES | TEMPERATURA MEDIA, °C | HUMEDAD RELATIVA, % |
|-----------|-----------------------|---------------------|
| MAYO | 26.60 | 78.00 |
| JUNIO | 26.00 | 80.00 |
| JULIO | 25.26 | 77.00 |
| AGOSTO | 26.00 | 78.00 |
| SETIEMBRE | 27.90 | 71.00 |
| OCTUBRE | 27.60 | 75.00 |

Fuente: **SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROGRAFIA "SENAMHI"-TARAPOTO.**

4.1.2. Análisis químico

Los resultados del análisis químico de los tubérculos de papa aérea (*Dioscorea bulbifera* L.) se presentan en el Cuadro 11.

En este cuadro se observa que respecto al análisis proximal todos los componentes caen en el rango indicado para especies de ñames comestibles, tal como se aprecia en el Cuadro 03. Sin embargo, el contenido de humedad de 76.2410% es superior a los valores 63.05 y 68.00% reportados por **JUAREZ** (1995) y **KIBUUKA** (1983), respectivamente, para tubérculos de *D. bulbifera* L.; esta diferencia se debe a que los tubérculos del presente trabajo fueron cosechados faltando 30-36 días para alcanzar la senescencia (280-286 días), además, el valor reportado por **JUAREZ** (1995) corresponde a tubérculos con más de 3 meses de almacenamiento, y el de **KIBUUKA** (1983) a tubérculos producidos en el Estado de Minas Gerais-Brasil, donde las condiciones de cultivo son diferentes al de la materia prima investigada.

CUADRO 11: ANALISIS QUIMICO DE LOS TUBERCULOS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.) (Contenido en 100 g de la parte comestible)

| C O M P O N E N T E | BASE HUMEDA * | BASE SECA * |
|---------------------------------|---------------|-------------|
| - Análisis proximal: | | |
| Humedad, g | 76.2410 | - |
| Proteínas, g | 1.3613 | 5.7296 |
| Grasa, g | 0.0375 | 0.1578 |
| Cenizas, g | 1.0447 | 4.3971 |
| Fibra, g | 0.2520 | 1.0607 |
| Carbohidratos, g | 21.0635 | 88.6548 |
| . Azúcares reductores, g | 1.6207 | 6.8214 |
| . Almidón, g | 17.9833 | 75.6905 |
| . Otros carbohidratos, g | 1.4595 | 6.1429 |
| - Acido ascórbico, mg | 26.7022 | 112.3877 |
| - Mucílagos, g | 6.1611 | 25.9316 |
| - Compuestos tóxicos: | | |
| Oxalato de calcio, mg | 26.6511 | 112.1727 |
| Acido cianhídrico libre, mg | 0.0000 | 0.0000 |
| Acido cianhídrico combinado, mg | 6.9974 | 29.4516 |
| Saponinas, g | 1.2920 | 5.4379 |

* Promedio de dos determinaciones.

El contenido de carbohidratos de 21.0635% resulta inferior al valor 33.88% reportado por **KIBUUKA** (1983), para tubérculos de *D. bulbifera* L. Este resultado se atribuye a la cosecha prematura y al alto nivel de humedad de los tubérculos.

El nivel de azúcares reductores de 1.6207% es superior a 0.69% para *D. alata* y a 1% para ñames en general, reportado por **MATOSSIAN** (1980); no obstante, resulta muy inferior al valor 6.09% para tubérculos de *D. bulbifera* L., reportado por **KIBUUKA** (1983), quien argumenta que este valor es consecuencia de la degradación amilolítica del almidón al no ser procesado inmediatamente.

El contenido de almidón de 17.9833% es inferior al valor 27.79% reportado por **KIBUUKA** (1983) para tubérculos de *D. bulbifera* L., debiéndose esta diferencia al elevado contenido de

humedad de la materia prima; sin embargo, al ser expresado en base seca se halla en el rango 70-80% indicado por **AGBOR** (1995) para ñames en general y supera ligeramente al contenido 75.21% citado por **KIBUUKA** (1983), demostrando que la materia seca es una excelente fuente de energía dado a su elevado tenor de almidón.

El nivel de ácido ascórbico de 26.7022 mg/100 g es próximo a 27 mg/100 g para tubérculos de *D. bulbifera* L., según **FRANCO** (1992), quien los clasifica como alimentos ricos en este compuesto. El contenido medio de vitamina C (ácido ascórbico + ácido dehidroascórbico) en tubérculos de *D. alata* y *D. esculenta* es de 27.50 y 20.30 mg/100 g, respectivamente (**BRADBURY**, 1986).

El contenido de mucílagos de 6,1611% es inferior a 8.96% obtenido por **ZEVALLOS** (1985), quien trabajó con tubérculos de *D. bulbifera* L. de baja humedad (62.17%), al cual puede atribuirse tal diferencia, sumándose a ésta la variedad y las condiciones de cultivo. Este mucílago está compuesto de glicoproteínas, los cuales son complejos oligosacárido-proteína unidos convalentemente (**FENNEMA**, 1993).

En cuanto a los compuestos tóxicos, el nivel de oxalato de calcio de 112.1727 mg/100 g m.s. se encuentra por debajo del rango 486-781 mg/100 g m.s. para tubérculos de *D. alata* y no constituye ningún problema nutricional debido a que es soluble en agua en un 50-75% (**WANASUNDERA**, 1994) y puede ser eliminado fácilmente por cocción o deshidratación (**NIETO**, 1977).

Los tubérculos investigados no registraron ácido cianhídrico en forma libre, lo que indica que no son tóxicos y se puede consumir sin ningún riesgo. En la yuca la concentración de esta sustancia alcanza 49 mg/100 g de tubérculo fresco, equivalente al 12% del contenido total de cianuro (**F.A.O.**, 1990); sin embargo, la toxicidad puede reducirse empleando los siguientes métodos: secado en horno con aire forzado a

temperaturas de 70-80°C, cocción en agua y secado al sol (CORDOVA, 1993). El contenido de ácido cianhídrico combinado (glúsido cianogenético) de 29.4516 mg/100 g m.s. es muy reducido y su ingestión no sería venenoso ya que en el tracto digestivo humano no existe ninguna enzima β -glucosidasa que pueda descomponer el glucósido y dejar en libertad el ácido cianhídrico; además, el organismo dispone de antídotos que permiten la destoxificación, de acuerdo con LINDNER (1978).

El nivel de saponinas de 1.2920% es inferior al valor 1.91% obtenido por ZEVALLOS (1985); debiéndose esta diferencia al contenido de humedad de las materias primas empleadas, al cultivar y a las condiciones de cultivo. Estos compuestos son muy tóxicos si se inyectan en el torrente sanguíneo, pero por vía oral son prácticamente inofensivos (EVANS, 1995).

4.2. DEL ALMIDON

4.2.1. Aislamiento

Se aisló 14.74% de almidón, referido a la parte comestible (pulpa). Este resultado es inferior al valor 17.98% determinado mediante análisis químico y puede atribuirse al grado de desintegración de la material prima, al grado de sedimentación del almidón y a la unión de los gránulos con los mucílagos, lo cual impide la fácil separación, coincidiendo con lo mencionado por (F.A.O., 1990).

4.2.2. Morfología y tamaño de los gránulos

Los gránulos de almidón, tal como se muestran en la Figura 08, presentaron forma triangular, con los ángulos en forma ovoidal, coincidiendo con lo descrito por KIBUUKA (1983). Sin embargo, ROSENTHAL (1972) determinó que los gránulos de almidón de *D. cinnamomifolia* son de diferentes formas: alargada,

triangular, esférica y cóncava; mientras que los de *D. alata* son más homogéneos: la mayoría triangularmente redondeados, algunos ovalados y otros esféricos.

En cuanto al tamaño, los gránulos oscilaron entre 10.50-70.00 μm de ancho y 14.00-84.00 μm de longitud. Estos resultados son superiores a los valores mencionados por **MONTALDO** (1991) para tubérculos de *D. bulbifera* (5-45 μm) y ñames en general (1-65 μm); pero coinciden con los valores determinados por **KIBUUKA** (1983) y **GIACOMETTO** (1987), quienes reportan tamaños menores de 17 y mayores de 70 μm .

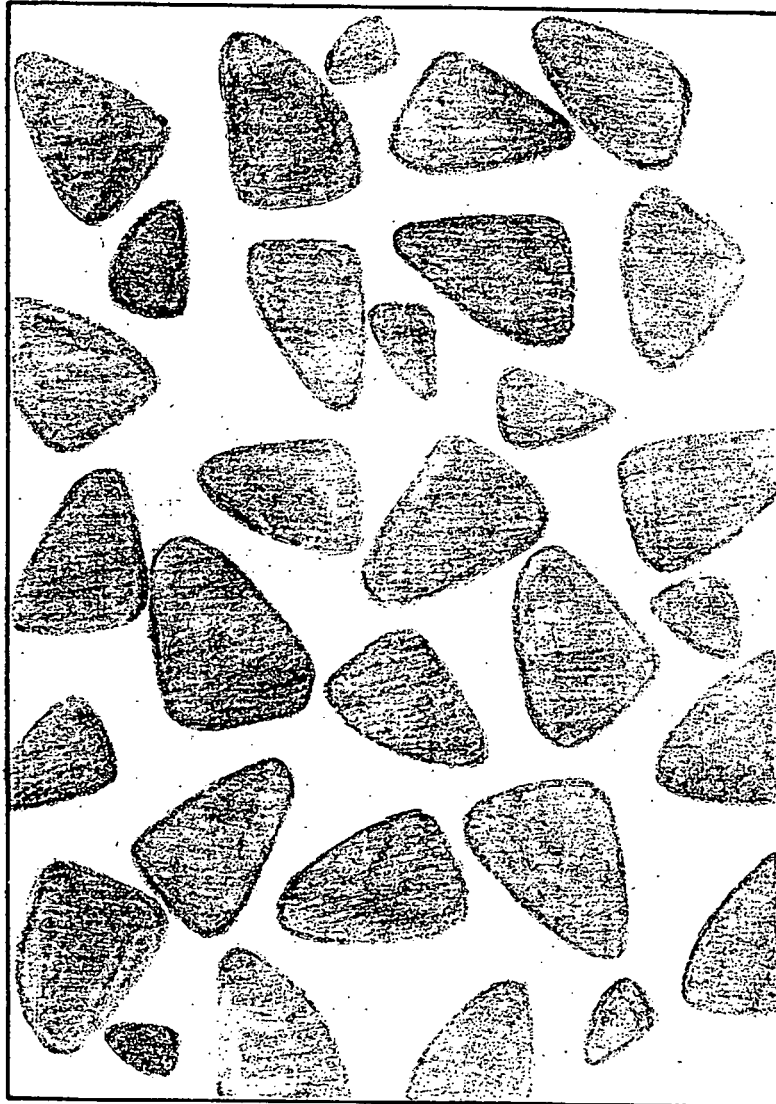
4.2.3. Afinidad al yodo

Este parámetro alcanzó un valor promedio de 4.66%, que corresponde a un contenido de amilosa de 23.30%, semejante a los valores indicados por **KIBUUKA** (1983) y **GIACOMETTO** (1987). El valor encontrado se ubica entre 4.50 y 4.73% almidones de *D. alata* y *D. cinnamomifolia*, respectivamente, determinado por **ROSENTHAL** (1972).

4.2.4. Temperatura de gelatinización

La temperatura de gelatinización de los gránulos de almidón de *D. bulbifera* L. está comprendida entre 69 y 80°C, correspondiendo la temperatura más baja (69°C) a la gelatinización de los gránulos de mayor tamaño y la más alta (80°C) a la de los gránulos de menor tamaño, dicho rango coincide con los valores indicados por **MONTALDO** (1991). La temperatura a la que el gránulo de almidón comienza a hincharse y a perder birrefringencia se denomina "temperatura de gelificación", llamada con propiedad "margen de gelificación", porque dentro de la muestra los granos individuales difieren no sólo en tamaño y forma, sino también en la necesidad de energía para que se produzca el hinchamiento (**FENNEMA**, 1993).

FIGURA 08: GRANULOS DE ALMIDON DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.)
OBSERVADOS MICROSCOPICAMENTE A 400X DE AUMENTO



No todos los gránulos se hinchan y gelatinizan al mismo tiempo y temperatura debido a que algunos son más resistentes y por tanto pueden requerir hasta 10°C más que otros (BADUI, 1984).

4.2.5. Viscosidad

El comportamiento de la viscosidad del almidón en función de la temperatura se muestra en la Figura 09, la misma que fue ploteada empleando los datos del Cuadro 12. En la figura se observa que el incremento de viscosidad de la suspensión se produce a 72°C e indica el inicio de la gelatinización de los gránulos, resultando ligeramente superior al valor determinado anteriormente (69°C). Los gránulos de almidón inician la absorción de agua a través de sus zonas amorfas y al ser calentados se rompen los puentes de hidrógeno intermoleculares, produciéndose una mayor absorción hasta alcanzar la pérdida de birrefringencia y el máximo hinchamiento, tal como menciona (BADUI, 1984).

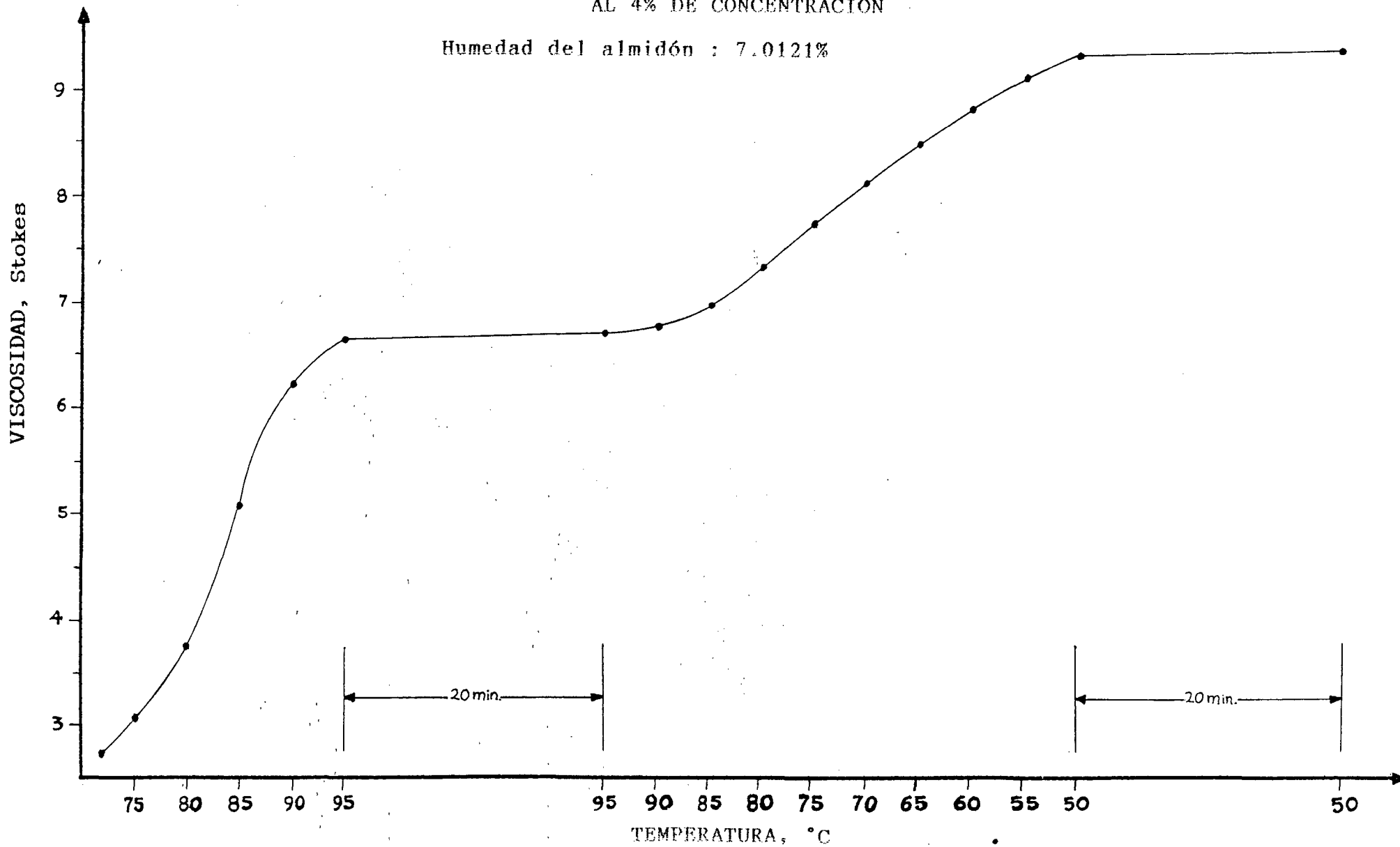
CUADRO 12: VARIACION DE LA VISCOSIDAD DEL ALMIDON DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.) EN FUNCION DE LA TEMPERATURA

Concentración:4%; Humedad del almidón:7.0121%

| CALENTAMIENTO | | ENFRIAMIENTO | |
|------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| TEMPERATURA (°C) | VISCOSIDAD (Stokes) | TEMPERATURA (°C) | VISCOSIDAD (Stokes) |
| 72 | 2.75 | 95 | 6.70 |
| 75 | 3.05 | 90 | 6.75 |
| 80 | 3.75 | 85 | 6.95 |
| 85 | 5.10 | 80 | 7.30 |
| 90 | 6.25 | 75 | 7.70 |
| 95 | 6.65 | 70 | 8.10 |
| - | - | 65 | 8.45 |
| - | - | 60 | 8.80 |
| - | - | 55 | 9.10 |
| - | - | 50 | 9.30 |
| - | - | 50 | 9.35 |

FIGURA 09: VISCOGRAMA DEL ALMIDON DE PAPA AEREA (Dioscorea bulbifera L.)
AL 4% DE CONCENTRACION

Humedad del almidón : 7.0121%



Durante el calentamiento hasta 95°C el aumento de la viscosidad es gradual y no se observa pico de viscosidad (viscosidad máxima), demostrando que la gelatinización es lenta y los gránulos no se hinchan por completo debido a la fuerte asociación intra-estructural entre las fracciones de amilosa y amilopectina. A la temperatura de gelatinización 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, cuando se produce la liberación del exudado y el plegamiento (deformación) de los gránulos hinchados, tal como reporta (CHARLEY, 1987).

Al mantener la pasta a 95°C, durante 20 minutos y con agitación, la viscosidad permanece constante, reflejando así la estabilidad del gránulo hinchado al tratamiento térmico y a la desintegración mecánica.

Durante el enfriamiento hasta 50°C la viscosidad aumenta gradualmente y la pasta va adquiriendo dureza y mayor opacidad. Al mantener la pasta a 50°C por 20 minutos, la viscosidad se mantiene constante y tanto la dureza como la opacidad se intensifican. Estos comportamientos de la viscosidad demuestran la tendencia retrogradativa del almidón, que de ser empleado como agente espesante o ingrediente principal de productos refrigerados como budines, sopas enlatadas y congeladas, alimentos infantiles, emulsiones (mayonesas) y otros alimentos, podría provocar endurecimiento de la textura y sinéresis del producto final.

La retrogradación consiste en la insolubilización y precipitación espontánea de las moléculas de amilosa y se produce cuando la pasta se enfría y la energía cinética ya no es tan grande para contrarrestar la marcada tendencia de las moléculas para

reasociarse (CHARLEY, 1987). Los almidones de tendencia retrogradativa se utilizan en la preparación de geles alimenticios (especialmente "ligas" en confitería) y películas comestibles (por ejemplo, recubrimientos de píldoras farmacéuticas). La opacidad de estas pastas, limita el uso en alimentos donde tal propiedad es una característica deseable (como en las sobremesas pre-preparadas), no aconsejándose en rellenos de tortas o como coberturas de confites, donde la buena transparencia es requisito fundamental, tal como reporta (GIACOMETTO, 1987).

4.3. DEL PROCESO DE OBTENCION DE HARINA DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.)

4.3.1. Pelado

El pelado de los tubérculos se realizó mediante 3 métodos: manual, químico y por cocción, evaluándose en cada uno de ellas la eficiencia y la pérdida de peso:

- Pelado manual

Mediante este método se obtuvieron tubérculos libre de epidermis, lenticelas y córtex, con una pérdida de peso promedio de 19.50%. Esta merma es inferior al valor de 21.50% para cormos de pituca (*Colocasia esculenta*), determinado por NIETO (1977). La operación se vio dificultada por la presencia de mucílagos en la superficie de la pulpa, pero estos compuestos fueron removidos mediante lavado con agua fría.

- Pelado químico

Los resultados de las pruebas experimentales, empleando las concentraciones de soda cáustica y tiempos de inmersión ya

citadas en la Metodología Experimental, se presentan en el Cuadro 13.

CUADRO 13: EFECTO DE LA CONCENTRACION DE SODA CAUSTICA EN EBULLICION Y DEL TIEMPO DE INMERSION SOBRE EL PELADO DE LOS TUBERCULOS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.)

| CONCENTRACION DE SODA CAUSTICA (%) | TIEMPO DE INMERSION (min) | AREA REMOV. (%) | O B S E R V A C I O N |
|------------------------------------|---------------------------|-----------------|--|
| 3 | 2 | 0 | No tiene efecto |
| | 3 | 25 | Eliminación mínima de la epidermis, presencia de lenticelas |
| | 4 | 60 | Eliminación parcial de la epidermis, presencia de lenticelas |
| | 5 | 90 | Eliminación total de la epidermis, presencia de lenticelas |
| 4 | 2 | 60 | Eliminación parcial de la epidermis, presencia de lenticelas |
| | 3 | 90 | Eliminación total de la epidermis y parcial de lenticelas |
| | 4 | 100 | Pelado completo (eliminación total de epidermis y lenticelas)(*) |
| | 5 | 100 | Pelado completo, penetración de soda cáustica |
| 5 | 2 | 90 | Eliminación total de la epidermis y parcial de lenticelas |
| | 3 | 100 | Pelado completo, coloración oscura de la pulpa |
| | 4 | 100 | Pelado completo, penetración de soda cáustica |
| | 5 | 100 | Remoción parcial del córtex, penetración de soda cáustica |
| 6 | 2 | 100 | Pelado completo, penetración de soda cáustica |
| | 3 | 100 | Remoción parcial del córtex, penetración de soda cáustica |
| | 4 | 100 | Remoción total del córtex, penetración de soda cáustica |
| | 5 | 100 | Remoción total del córtex, cocción y remoción parcial de la pulpa, penetración de soda cáustica. |

(*) Porcentaje de cáscara (epidermis + laticelos): 8.12%

NOTA: En el pelado manual, la cáscara (epidermis + lenticelas + costra verde) representa el 19.50%

En este cuadro se observa que el pelado óptimo se logra con una concentración de soda cáustica comercial de 4% y con un tiempo de inmersión de 4 minutos. A estas condiciones se obtienen tubérculos libres de epidermis y lenticelas, sin penetración de soda cáustica y con una pérdida de peso promedio de 8.12%; no existiendo un mejor método para medir el efecto de la soda cáustica en el pelado. La pérdida de peso registrada se

halla en el rango 5 a 15% para ñames en general, indicado por GIACOMETTO (1986); sin embargo es inferior al valor 19.50% determinado mediante pelado manual, esto se debe a que mediante el pelado químico se elimina la epidermis, lenticelas y en forma parcial el córtex, mientras que en el pelado manual se remueve por completo el córtex y una capa delgada de pulpa que conduce a mayores mermas.

- Pelado por cocción

El pelado de los tubérculos cocidos se realizó en forma manual, obteniéndose productos libres de epidermis y lenticelas y con una pérdida de peso promedio de 4.23%, inferior a los valores obtenidos mediante pelado manual y químico; sin embargo los tubérculos conservaron el córtex de color verde oscuro atribuido a la transformación de la clorofila en feofitina.

Con la finalidad de determinar el tiempo óptimo de cocción se realizaron diferentes pruebas a temperatura de ebullición del agua, evaluándose en cada caso la actividad peroxidásica y la pérdida de ácido ascórbico, tal como se muestra en el Cudro 14.

CUADRO 14: EFECTO DEL TIEMPO DE COCCION DE LOS TUBERCULOS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.) SOBRE LA ACTIVIDAD DE LA PEROXIDASA Y LA PERDIDA DE ACIDO ASCORBICO

| TIEMPO DE COCCION (min) | ACTIVIDAD DE LA PEROXIDASA | CONTENIDO DE ACIDO ASCORBICO (mg/100 g Mát.Seca) | PERDIDA DE ACIDO ASCORBICO (%) |
|-------------------------|----------------------------|--|--------------------------------|
| 0 | Positivo | 112.37 | 0.00 |
| 30 | Positivo | 70.18 | 37.54 |
| 35 | Positivo | 64.15 | 42.91 |
| 40 | Positivo | 58.07 | 48.32 |
| 45 | Negativo | 51.16 | 54.47 |
| 50 | Negativo | 42.61 | 62.08 |
| 55 | Negativo | 31.44 | 72.02 |
| 60 | Negativo | 17.33 | 84.58 |

En el Cuadro se aprecia que el tiempo óptimo de cocción para inactivar por completo la peroxidasa es de 45 minutos; sin embargo a esta condición se experimente una pérdida de ácido ascórbico de 54.47%. No obstante, ésta pérdida es inferior a los niveles obtenidos por **BRADBURY** (1986) para tubérculos cocidos de *Dioscorea alata* y *Dioscorea esculenta*, quien reporta pérdidas por encima del 70%.

Los tubérculos pelados por éste método registraron 79.8590% de humedad, producto de la absorción de agua debido a la gelatinización del almidón.

4.3.2. Cortado

Durante esta operación los tubérculos pelados en forma manual y química alcanzaron una pérdida de peso promedio de 1.72%, correspondiente a trozos de pulpa, ojos y mucílagos; mientras que los pelados por cocción registraron 1.47%, representado por trozos y partículas de pulpa cocida. Esta operación va acompañada de pérdida de material, debido a la liberación del contenido celular en una cantidad proporcional al grado de subdivisión, coincidiendo con lo mencionado por **NIETO** (1977).

4.3.3. Blanqueado

Los resultados de las pruebas experimentales, a las condiciones indicadas en la metodología experimental, se presentan en el Cuadro 15.

CUADRO 15: EFECTO DEL TIEMPO DE BLANQUEADO DE LAS RODAJAS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.) SOBRE LA ACTIVIDAD DE LA PEROXIDASA Y LA PERDIDA DE ACIDO ASCORBICO

| TIEMPO DE BLANQUEADO (min) | ACTIVIDAD DE LA PEROXIDASA | CONTENIDO DE ACIDO ASCORBICO (mg/100 g Mat.Sec.) | PERDIDA DE ACIDO ASCORBICO (%) |
|----------------------------|----------------------------|--|--------------------------------|
| 0 | Positivo | 112.37 | 0.00 |
| 1 | Positivo | 102.36 | 8.91 |
| 2 | Positivo | 88.63 | 21.13 |
| 3 | Negativo | 71.16 | 36.67 |
| 4 | Negativo | 50.54 | 55.02 |
| 5 | Negativo | 17.86 | 84.11 |

En el cuadro se observa que el tiempo óptimo de blanqueado de las rodajas es de 3 minutos, tiempo en el que se logra inactivar la peroxidasa, con una pérdida de ácido ascórbico de 36.67%. Al prolongar el tiempo a 5 minutos se alcanza una pérdida de este compuesto de 84.11%, muy cercana a 84.58% para tubérculos cocidos durante 60 minutos, tal como se muestra en el Cuadro 14.

La catalasa y la peroxidasa son dos enzimas termorresistentes presentes en la mayoría de las verduras, que no se hallan implicadas en las pérdidas del valor nutritivo y modificaciones de las características organolépticas durante el almacenamiento; sin embargo, se utilizan para determinar la eficacia del escaldado, siendo la peroxidasa la más termorresistente, según lo descrito por **FELLOWS** (1994).

Finalizada la operación, las muestras blanqueadas 1 y 3 registraron contenido de humedad de 79.7217 y 79.8982%, respectivamente.

4.3.4. Sulfitado

Los resultados de las pruebas experimentales, a las condiciones indicadas en la metodología experimental, se muestran en el Cuadro 16.

CUADRO 16: EFECTO DE LA CONCENTRACION DE BISULFITO DE SODIO SOBRE EL COLOR DE LAS RODAJAS Y EL CONTENIDO RESIDUAL DE SO₂ EN LA HARINA DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.) DESHIDRATADA A 60°C

| CONCENTRACION DE BISULFITO DE SODIO (%) | COLOR DE LA PULPA FRESCA | COLOR DE LAS RODAJAS SULFITADAS | CONTENIDO DE SO ₂ RESIDUAL EN LA HARINA (PPM Base Seca) |
|---|--------------------------|---------------------------------|--|
| 0.1 | Violeta pálido | Oscuro | 3 |
| 0.2 | Violeta pálido | Oscuro | 9 |
| 0.3 | Violeta pálido | Violeta pálido | 17 |
| 0.4 | Violeta pálido | Violeta pálido | 36 |
| 0.5 | Violeta pálido | Violeta pálido | 64 |

En el cuadro se observa que las concentraciones de 0.1 y 0.2% no son suficientes para evitar el oscurecimiento de la pulpa; en cambio, a concentraciones de 0.3, 0.4 y 0.5% las rodajas sulfitadas y luego expuestas al ambiente no experimentan ningún cambio de color, lo cual demuestra la inactivación completa de las enzimas. Por lo tanto la concentración óptima de bisulfito de sodio es de 0.3%, obteniéndose posteriormente una harina libre de pardeamiento, de color similar al de la pulpa fresca y con 17 ppm de SO₂ en base seca. Este nivel de sulfito residual está por debajo del rango 35-90 ppm establecido para patatas deshidratadas (WONG, 1995) y del máximo valor permitido por el INDECOPI (50 ppm) para almidones no modificados de uso industrial alimenticio y farmacéutico, citado por AGUIRRE (1992).

Finalizada la operación, las muestras sulfitadas 2 y 4 alcanzaron niveles de humedad de 77.8365 y 77.9074%, respectivamente.

4.3.5. Oreo

Al finalizar esta operación las muestras blanqueadas 1 y 3 registraron niveles de humedad de 78.2639 y 78.3562%, y las muestras sulfitadas 2 y 4 76.8568 y 76.9491%, respectivamente.

4.3.6. Deshidratación

Las muestras pretratadas que se indicaban en el Cuadro 06 fueron deshidratadas a temperaturas de 60, 65 y 70°C, hasta humedades cercanas al equilibrio (aproximadamente 7%).

Los parámetros del aire ambiental y de deshidratación se presentan en el Cuadro 17.

CUADRO 17: PARAMETROS DEL AIRE DE ENTRADA Y DE DESHIDRATACION

| P A R A M E T R O | AIRE DE ENTRADA | AIRE DE DESHIDRATACION | | |
|--|------------------|------------------------|---------|---------|
| | (AIRE AMBIENTAL) | | | |
| Temperatura de bulbo seco (°C) | 27.0000 | 60.0000 | 65.0000 | 70.0000 |
| Temperatura de bulbo húmedo (°C) | 23.5000 | 35.0000 | 36.0000 | 37.0000 |
| Depresión de bulbo húmedo (°C) | 3.5000 | 25.0000 | 29.0000 | 33.0000 |
| Humedad Relativa (%) | 75.5600 | 20.4000 | 16.5600 | 13.7000 |
| Humedad Absoluta (KgH ₂ O/Kg aire seco) | 0.0169 | 0.0259 | 0.0262 | 0.0268 |

Con el propósito de observar el comportamiento y establecer los períodos de deshidratación de las muestras, las curvas de secado y velocidad de secado, fueron elaboradas a la temperatura óptima de deshidratación que corresponde a 65° C, la misma que fue establecida mediante pruebas sensoriales (Ordenamiento y Preferencia). Estas curvas se ilustran en las Figuras 10 y 11, las que fueron construidas empleando los datos experimentales de los Cuadros 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 y 1.5 del Anexo 01.

La Figura 10 muestra la variación del contenido de humedad en función del tiempo de deshidratación, donde se observa que las muestras blanqueadas 1 y 3 registraron pérdida de humedad y alcanzaron contenidos próximos al equilibrio en menor tiempo (6.917 horas), tal como se aprecia en el Cuadro 18; este comportamiento se debe al ablandamiento de los tejidos y al aumento de la permeabilidad de las paredes celulares. En las muestras sulfitadas 2 y 4 la reducción del contenido de humedad y el tiempo de deshidratación experimentaron niveles intermedios (tiempo de 8.50 horas), debido a que las paredes y membranas intactas de las células retienen la humedad impidiendo la fácil deshidratación. La muestra 5 (cocida) registró una lenta pérdida de humedad y un mayor tiempo de deshidratación (11.50 horas), atribuido al efecto de la gelatinización de los gránulos de almidón y al endurecimiento superficial de las rodajas; esta capa dura resulta impermeable al flujo del agua y como consecuencia de ello disminuye la velocidad de secado.

La Figura 11 muestra la variación de la velocidad de secado en función del contenido de humedad, donde se observa curvas típicas con períodos de secado a velocidad constante y velocidad decreciente.

Durante el período de secado a velocidad constante, la muestra 5 (cocida) registró la mayor velocidad ($1.69 \text{ Kg H}_2\text{O/h.m}^2$) dado al elevado contenido de humedad inicial alcanzado durante la cocción y a la gran permeabilidad de las paredes celulares; sin embargo, pierde poca cantidad de humedad como consecuencia del bajo nivel de agua libre, pues la mayor parte se halla absorbida por los gránulos gelatinizados de almidón. Las muestras blanqueadas 1 y 3 alcanzaron una velocidad intermedia (1.52 y $1.54 \text{ Kg H}_2\text{O/h.m}^2$, respectivamente), pero pierden la mayor parte del agua debido al ablandamiento de los tejidos y al aumento de la permeabilidad de las paredes celulares.

FIGURA 10: CURVAS DE SECADO DE MUESTRAS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.) A 65°C

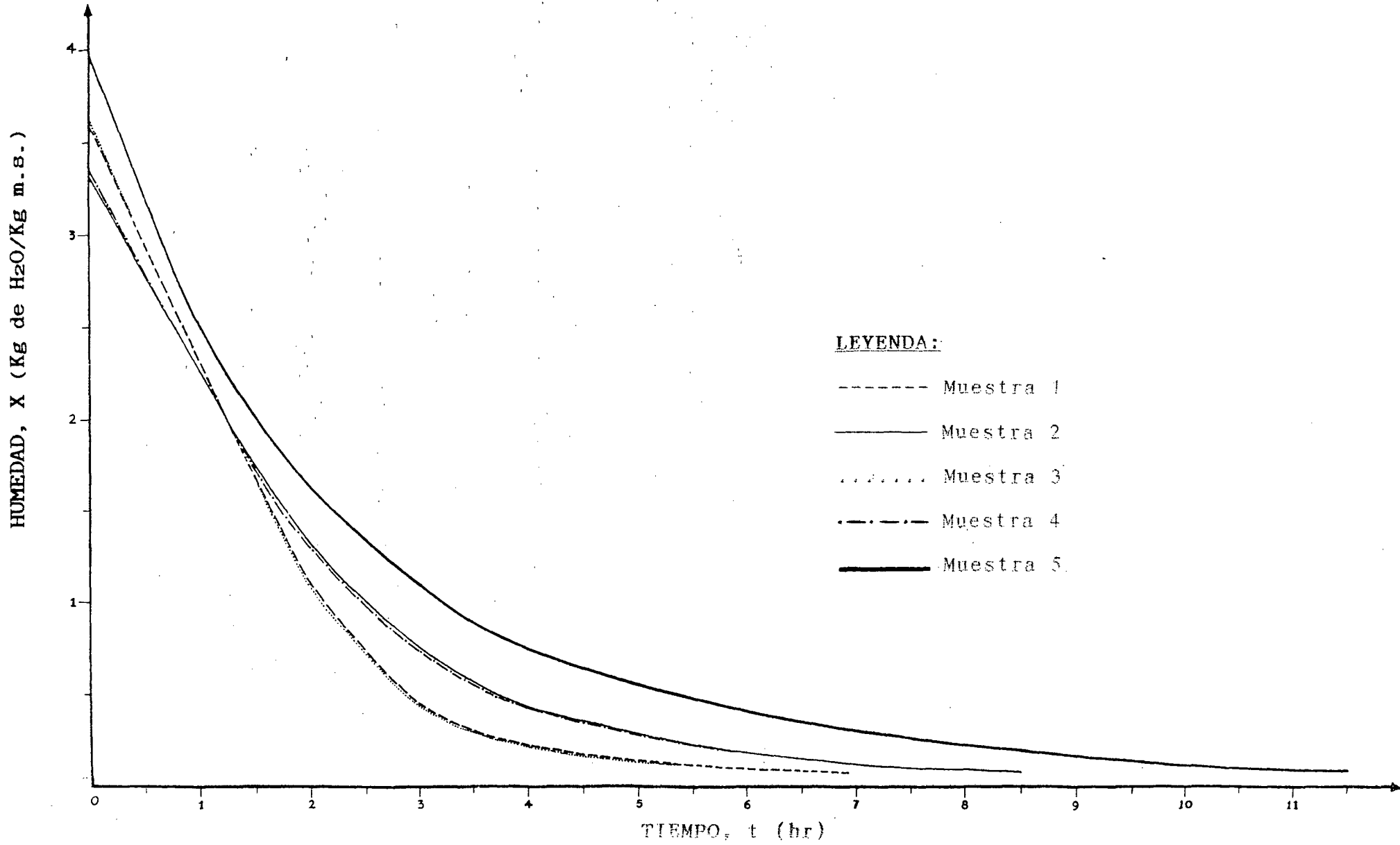
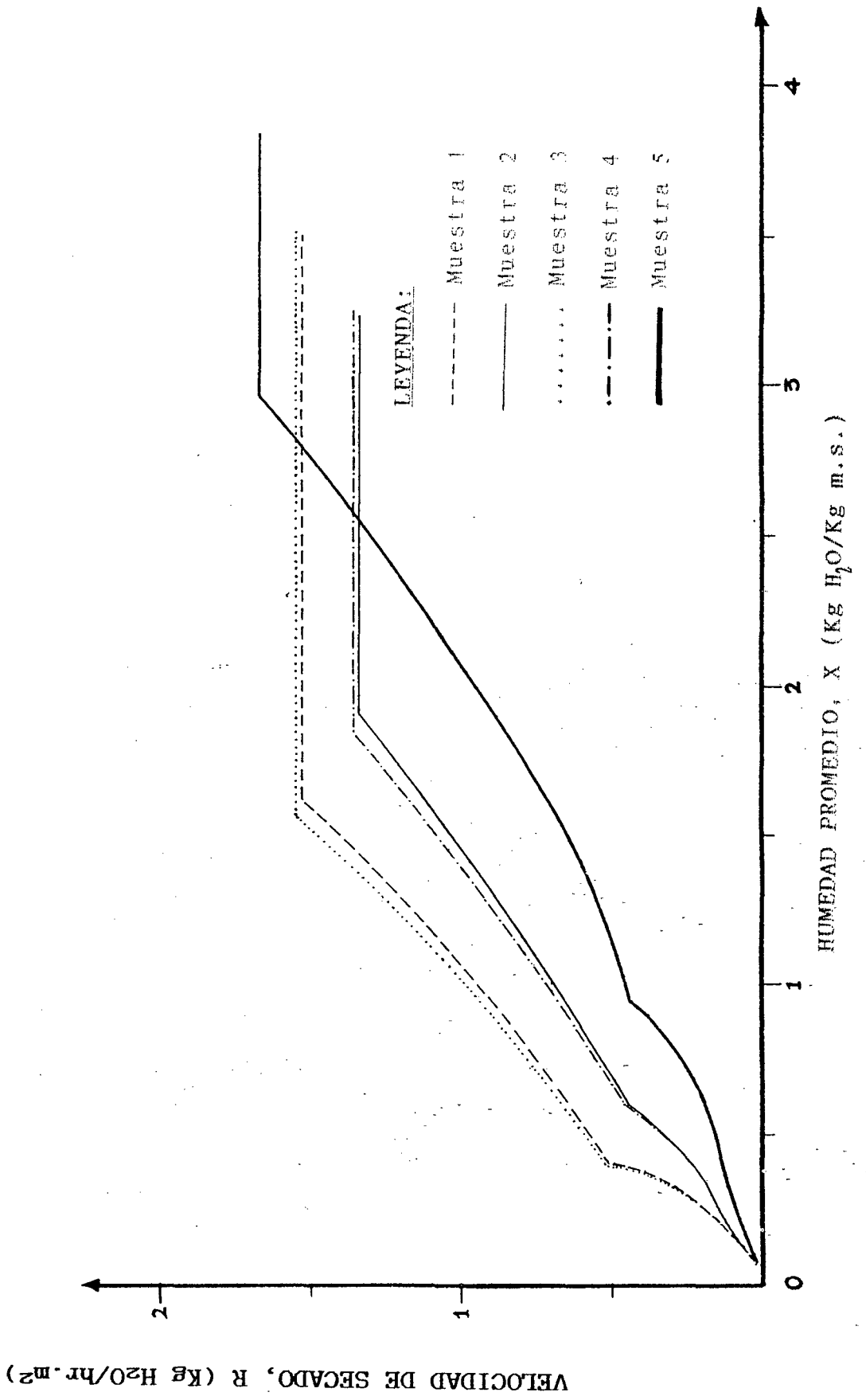


FIGURA 11: CURVAS DE VELOCIDAD DE SECADO DE MUESTRAS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.) A 65°C



Las muestras sulfitadas 2 y 4 registraron la menor velocidad (1.34 y 1.36 Kg H₂O/h.m², respectivamente) y una pérdida intermedia de humedad dado a la permanencia de la estructura celular, cuyas membranas y paredes intactas impiden el fácil desplazamiento del agua hacia la superficie de deshidratación.

Durante el período de secado a velocidad decreciente, las muestras blanqueadas 1 y 3 experimentaron la mayor velocidad dado a que la modificación de la estructura celular facilita la difusión del agua. Las muestras sulfitadas 2 y 4 registran una velocidad media atribuida a la reducida permeabilidad de las paredes celulares que impiden la migración de la humedad. En la muestra 5 (cocida) la velocidad cae en forma brusca y alcanza el menor nivel debido a la gelatinización del almidón y al progresivo endurecimiento superficial de las rodajas. En este período la muestra 5 (cocida) pierde la mayor cantidad de agua, seguido por las muestras sulfitadas 2 y 4 y blanqueadas 1 y 3. Las curvas presentan un punto de inflexión correspondiente a la segunda humedad crítica el cual da lugar a dos zonas bien definidas, conocidas como primer y segundo período poscrítico. La concavidad de las curvas durante el segundo período poscrítico indica que la deshidratación es controlada por difusión, tal como menciona **GEANKOPLIS** (1982).

Los contenidos de humedad inicial, crítica y final de las rodajas, y el tiempo total de deshidratación se resumen en el Cuadro 18.

CUADRO 18: HUMEDAD INICIAL, CRITICA Y FINAL, Y TIEMPO TOTAL DE DESHIDRATACION DE MUESTRAS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.) A 65°C

| MUESTRA | HUMEDAD (g H ₂ O/g mat.seca) | | | | TIEMPO SECADO | |
|---------|---|---------|-------------|--------|---------------|--------|
| | INICIAL | CRITICA | 2DA CRITICA | FINAL | min | hr |
| 1 | 3.6006 | 1.6200 | 0.4000 | 0.0736 | 415 | 6.917 |
| 2 | 3.3209 | 1.9100 | 0.6000 | 0.0740 | 510 | 8.500 |
| 3 | 3.6203 | 1.5700 | 0.4000 | 0.0738 | 415 | 6.917 |
| 4 | 3.3382 | 1.8500 | 0.6000 | 0.0742 | 510 | 8.500 |
| 5 | 3.9650 | 2.9600 | 0.9400 | 0.0780 | 690 | 11.500 |

En este cuadro se observa que las diferentes humedades, con excepción de la humedad inicial, y el tiempo de secado son superiores en la muestra 5 (cocida), seguido por las muestras sulfitadas 2 y 4 y blanqueadas 1 y 3; sin embargo, el contenido de humedad inicial de las muestras blanqueadas 1 y 3 supera a las sulfitadas 2 y 4, debido a la absorción experimentada durante el tratamiento térmico.

La mejor relación de temperatura y tiempo de secado corresponde a un contenido de humedad próximo al valor monomolecular de 6.4106% en base seca, determinado mediante pruebas de isotermas de adsorción y modelos de GAB y BET.

4.3.7. Molienda

Esta operación se llevó a cabo sin dificultad, excepto en la muestra 5 (cocida) donde la dureza atribuida a la gelatinización del almidón y al endurecimiento superficial, impidió la fácil desintegración y obtención de un producto con textura fina. Las muestras alcanzaron una pérdida de peso promedio de 0.20%

4.3.8. Tamizado

Con el fin de obtener productos más uniformes en tamaño y que permitan ser caracterizados, las harinas fueron tamizadas en forma manual empleando un tamiz ASTM de 150 μm de apertura. Para incrementar el rendimiento en harina, las partículas gruesas fueron nuevamente molidas y tamizadas en dos oportunidades. Las pérdidas de peso alcanzadas fueron de 12.33% en las muestras blanqueadas 1 y 3 y sulfitadas 2 y 4, y de 24.65% en la muestra cocida. Esta última presentó mayor granulometría debido a la modificación experimentada por el almidón durante la cocción.

Esta operación no se realizó en harinas destinadas al análisis granulométrico.

4.3.9. Determinación del diagrama de flujo óptimo y balance de materiales

El diagrama de flujo óptimo fue establecido mediante análisis sensorial de las harinas, tal como se detalla en el acápite 4.4.1. Este diagrama se ilustra en la Figura 12 y corresponde al flujo de procesamiento de la muestra 2 (pelado manual-sulfitado) a una temperatura de deshidratación de 65°C.

La Figura 12 muestra el flujo de materiales y el rendimiento harinero durante el proceso. Las mayores pérdidas de peso se registraron en las etapas de pelado manual, deshidratación y tamizado, con niveles de 19.50, 75.14 y 12.33%, respectivamente, atribuidas al método de pelado de los tubérculos, al alto contenido de humedad de las rodajas y a la efectividad de la molienda. Estas pérdidas permitieron obtener un rendimiento en harina de 17.67%, muy próximo al rango 19.68-20.85% para harinas crudas de pituca (*Colocasia esculenta*) determinada por NIETO (1977); esta pequeña diferencia se atribuye

básicamente al elevado contenido de humedad de materia prima y al tipo de molienda empleado.

4.4. DEL PRODUCTO FINAL

4.4.1. Análisis sensorial

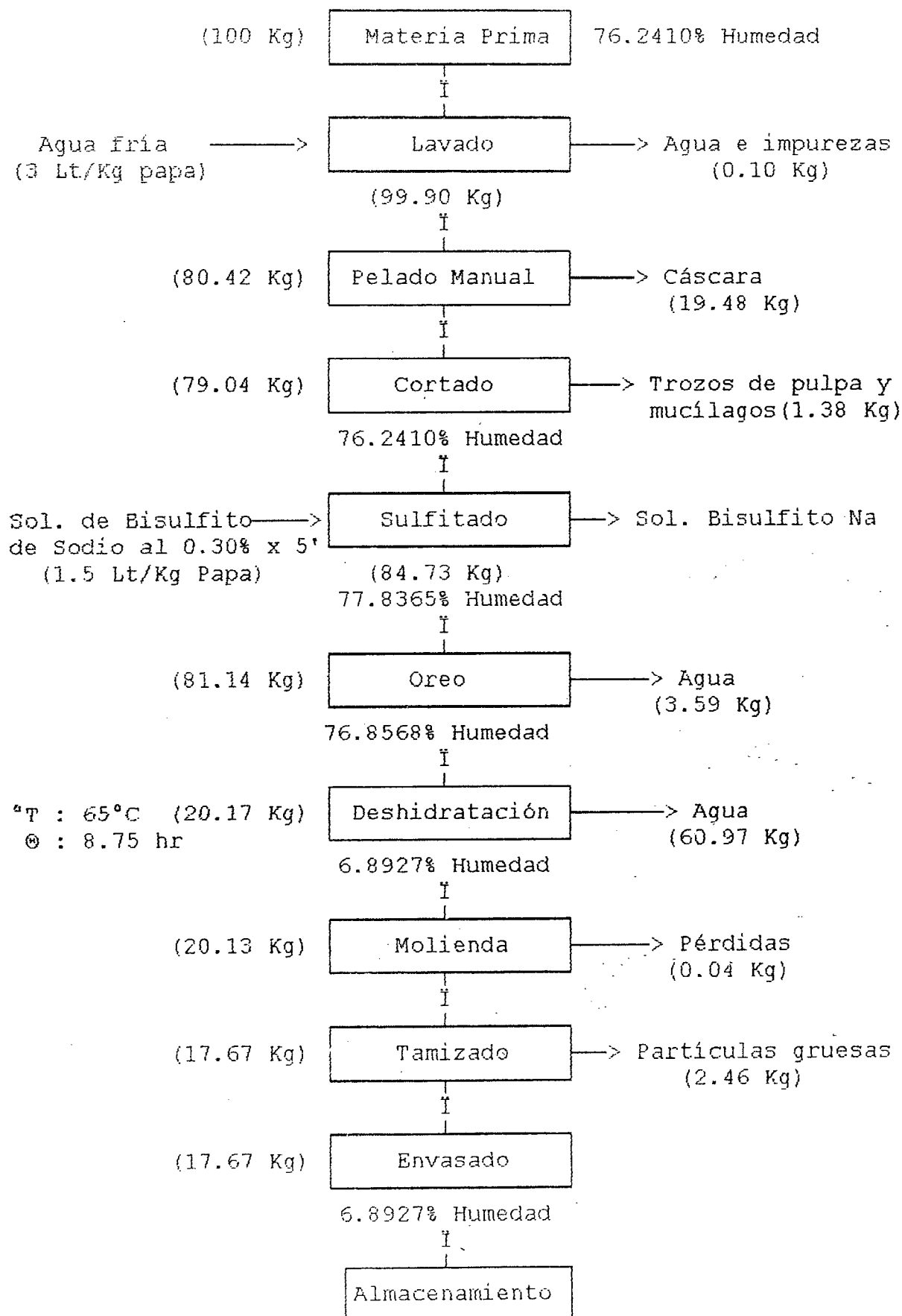
Con la finalidad de determinar la mejor harina y por consiguiente el diagrama de flujo óptimo, las harinas fueron analizadas sensorialmente mediante las pruebas de ordenamiento y de preferencia, empleando 10 jueces semientrenados y un nivel de significancia del 5%.

4.4.1.1. Prueba de ordenamiento o de Ranking

Mediante esta prueba se determinaron las tres mejores harinas (una para cada temperatura de deshidratación) en cuanto a color, olor y textura. Los resultados de la prueba de ordenamiento se registran en el Anexo 03 (Cuadros 3.1, 3.2 y 3.3); los datos transformados según los valores de Fisher Yates en el Anexo 04 (Cuadros 4.1, 4.2 y 4.3); y el Análisis de Varianza del Diseño en Bloque Completament al Azar en el Anexo 06, donde se observa que para las tres temperaturas de deshidratación existe diferencia significativa entre tratamientos en cuanto al color y textura, pero no en el olor.

Los resultados de la Prueba de Tukey se presentan en el Anexo 07 (Cuadros 7.1, 7.2 y 7.2), donde se aprecia que para las tres temperaturas los tratamientos son significativamente diferentes entre sí en cuanto al color y textura, a excepción de las muestras 1 y 3 que no manifiestan significancia en la textura a 60°C y en el color a 65°C de deshidratación.

FIGURA 12: DIAGRAMA DE FLUJO OPTIMO PARA LA OBTENCION DE HARINA DE PAPA AEREA (Dioscorea bulbifera L.) Y BALANCE DE MATERIALES



Como todas las muestras resultaron ser significativamente diferentes entre si, en cuanto a los atributos color y textura pero no en el olor, para determinar la mejor muestra se optó por comparar las medias de cada una de ellas y determinar aquella de menor valor, resultando la muestra 2 (pelado manual-sulfitado) con esta característica para las tres temperaturas de deshidratación.

4.4.1.2. Prueba de preferencia

A esta prueba fueron sometidas las tres harinas seleccionadas mediante la prueba de ordenamiento. Los resultados de la prueba de preferencia se registran en el Anexo 09 y el Análisis de Varianza del Diseño en Bloque Completamente al Azar en el Anexo 10, donde se observa que existe diferencia significativa entre tratamientos (temperaturas de deshidratación). Los resultados de la prueba de Tukey se presentan en el Anexo 11, en el cual se aprecia que los tratamientos son significativamente diferentes entre si. Para determinar el mejor tratamiento (temperatura de deshidratación) se siguió el procedimiento de evaluación de medias, resultando el tratamiento 2 (65°C) como el mejor; esto indica que la mejor harina se obtiene mediante el procesamiento de la muestra 2 (pelado manual sulfitado), a una temperatura de deshidratación de 65°C. La harina así obtenida fue sometida a análisis físico, químico, microbiológico y reológico, así como a almacenamiento durante 60 días.

4.4.2. Análisis físico

4.4.2.1. Peso específico

El producto final registró un peso específico de 0.55 g/cm³. Este valor se ubica en el rango 0.51-0.59 g/cm³ para sopas deshidratadas en base a pulpa de sardinas, habas, maíz y quinua,

y ligeramente por encima del valor promedio 0.50 g/cm^3 para la harina de trigo, citadopor **MENDIETA** (1991). No obstante, garantiza una buena dispersión en otros sólidos o en líquidos.

4.4.2.2. Granulometría

- Angulo de reposo

Este parámetro fue de 30.50° , inferior al rango $34.05-36.81^\circ$ para harinas crudas de pituca (*Colocasia esculenta*), clasificadas como "finas", según **NIETTO** (1977). Este resultado se atribuye al grado y tipo de molienda empleado.

- Módulo de finura

Los resultados del tamizado y el módulo de finura se presentan en el Cuadro 19. En este cuadro se observa un módulo de finura de 1.6446, el cual se ubica en el rango 1.60-1.78 para sopas deshidratadas en base a pulpa de sardina, habas, maíz y quinua, clasificadas como finas, según **MENDIETA** (1991), por lo tanto la harina obtenida corresponde a la categoría "fina". Al respecto, **NIETO** (1977) reporta valores de 1.336-1.446 para harinas crudas de pituca (*Colocasia esculenta*), debiéndose tal diferencia al grado y tipo de molienda empleado.

Según el **INDECOPI**, la harina de maíz es clasificada como fina cuando el tamaño de las partículas es menor de $250 \mu\text{m} \pm 10\%$. Esto confirma la categoría "fina" de la harina obtenida, ya que el 92.03% de las partículas pasan el tamiz N° 60, de $250 \mu\text{m}$ de apertura.

4.4.2.3. Isoterma de adsorción

Los resultados de humedad de equilibrio de la harina a 37°C se presenta en el Cuadro 20 y la isoterma de adsorción en la

Figura 13. Esta isoterma tiene forma sigmoidea, típica de los materiales biológicos y descrita como de tipo II, según LABUZA (1983).

CUADRO 19: RESULTADOS DE TAMIZADO Y MODULO DE FINURA DE LA HARINA DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.)

| N° DE MALLA A.S.T.M. | APERTURA DEL TAMIZ um | TAMAÑO DE LAS PARTICULAS (1) um | FACTOR MODULO DE FINURA (FMF) | RECHAZOS (R) % | RECHAZOS ACUMULAD (RA) % | R*FMF |
|------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------|--------------------------|--------|
| 20 | 850 | Superir.a 850 | 7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 500 | 500 | 6 | 0.21 | 0.21 | 1.26 |
| 45 | 354 | 354 | 5 | 1.95 | 2.16 | 9.75 |
| 60 | 250 | 250 | 4 | 5.81 | 7.97 | 23.24 |
| 70 | 212 | 212 | 3 | 19.42 | 27.39 | 58.26 |
| 120 | 125 | 125 | 2 | 26.39 | 53.78 | 52.78 |
| 200 | 75 | 75 | 1 | 19.17 | 72.95 | 19.17 |
| Plato | - | Inferior a 75 | 0 | 27.05 | 100.00 | 0.00 |
| T O T A L | - | - | - | 100.00 | - | 164.46 |
| MODULO DE FINURA = TOTAL/100 | | | - | - | - | 1.6446 |

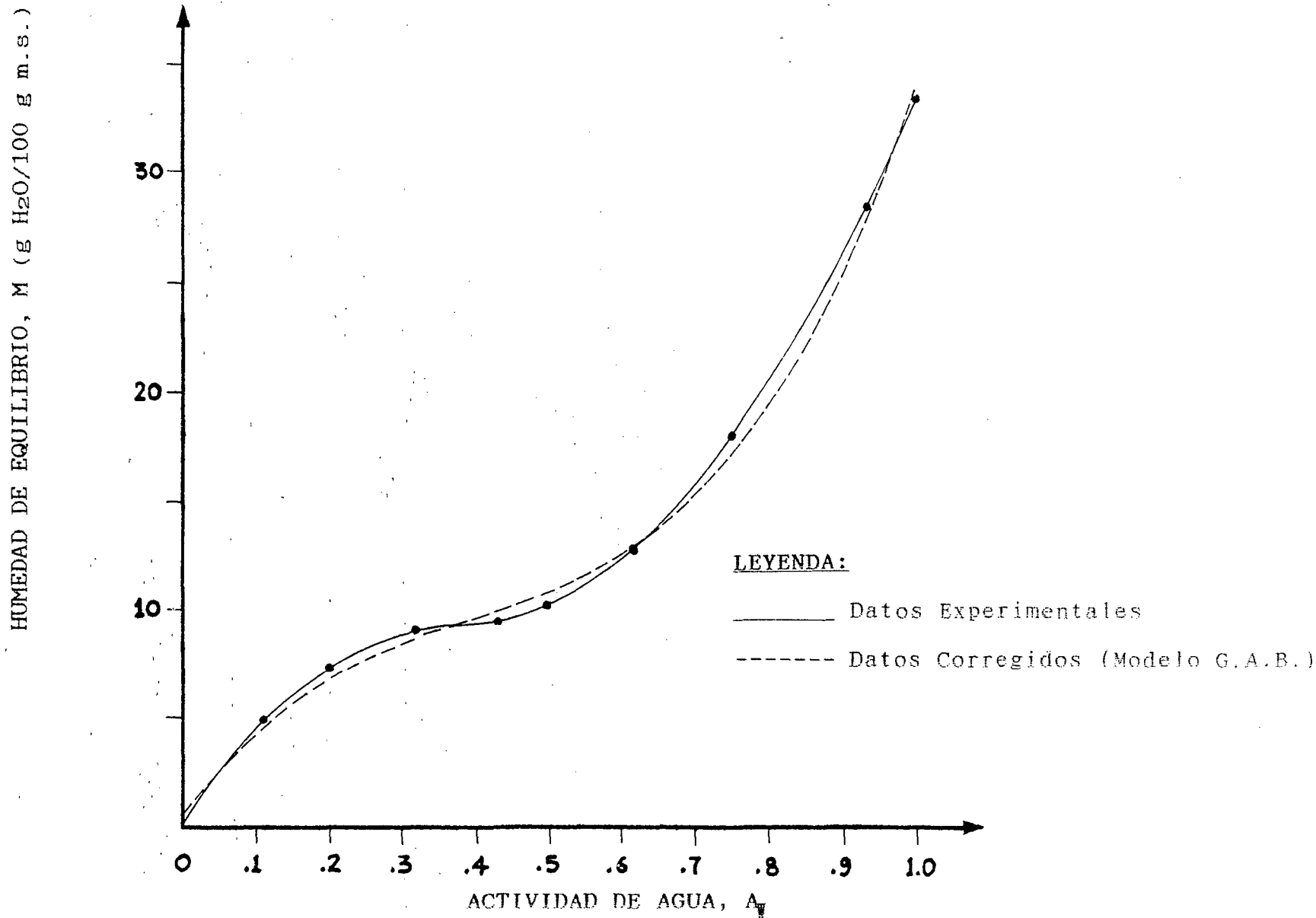
A.S.T.M. : American Society for Testing Materials.

CUADRO 20: VALORES DE ACTIVIDAD DE AGUA Y HUMEDAD DE EQUILIBRIO DE LA HARINA DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.) A 37°C

| ACTIVIDAD DE AGUA AW | HUMEDAD DE EQUILIBRIO, M (g. H ₂ /100 g materia seca) * |
|----------------------|--|
| 0.000 | 0.0187 |
| 0.110 | 4.8554 |
| 0.204 | 7.4953 |
| 0.320 | 9.1253 |
| 0.434 | 9.5011 |
| 0.503 | 10.2128 |
| 0.624 | 12.8046 |
| 0.754 | 18.0020 |
| 0.930 | 28.4976 |
| 1.000 | 33.5211 |

* Promedio de tres determinaciones

FIGURA 13: ISOTERMA DE ADSORCION DE LA HARINA DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.) A 37°C



4.4.2.4. Valor monomolecular

Los datos experimentales del Cuadro 20 fueron ajustados a las ecuaciones de G.A.B. y B.E.T. mediante el método de mínimos cuadrados, determinándose en cada caso el valor de la monocapa y la A_w . Estos valores se muestran en el Cuadro 21.

CUADRO 21: HUMEDAD DE MONOCAPA Y ACTIVIDAD DE AGUA DE LA HARINA DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.)

| P A R A M E T R O | G.A.B. | B.E.T. |
|--|--------|--------|
| Valor Monomolecular (g H ₂ O/100 g materia seca) | 6.4106 | 5.6930 |
| Actividad de agua, A_w | 0.1276 | 0.0733 |

En ambos modelos, el valor monomolecular representa la cantidad de agua ligada a los grupos mas hidrofílicos de la parte no acuosa de la harina (básicamente grupos oxidrilos de las moléculas de almidón) e indica la humedad de máxima estabilidad durante el almacenamiento. La diferencia en el valor monomolecular se debe a que en el modelo G.A.B. se emplean todos los datos experimentales, mientras que en el modelo B.E.T. se utilizan valores hasta una A_w de 0.50.

La A_w de la harina fue determinada a partir del contenido de humedad en base seca, empleando la curva corregida de la Figura 13. Este parámetro corresponde a 0.23, el mismo que está comprendido entre 0.2 y 0.3, rango óptimo para la estabilidad de alimentos deshidratados (LABUZA, 1983).

4.4.3 Análisis químico

Los resultados del análisis químico de la harina se presentan en el Cuadro 22. En este cuadro se observa un reducido contenido de humedad (6.8927%), el cual se ubica en el rango óptimo para la estabilidad de productos deshidratados de yuca y ñame (6.5-8.0%), según **ONAYEMI** (1987).

El nivel de proteínas de 5.4590% en base seca es superior al valor 4.71% determinado por **GIACOMETTO** (1986) y está en el rango 5.20-9.04% para harinas de ñames en general, reportado por **MOURA** (1982).

El contenido de grasa de 0.1544% en base seca es inferior al valor 0.55% reportado por **GIACOMETTO** (1986) y al rango 0.33-0.83% para harinas de ñames en general, según **MOURA** (1982). Este resultado demuestra la baja susceptibilidad de la harina al enranciamiento y al oscurecimiento no enzimático (ONE) durante el almacenamiento, pues la oxidación de los lípidos origina la formación de peróxidos y epóxidos, los que a su vez oxidan al ácido ascórbico, uno de los mecanismos del ONE.

El nivel de cenizas de 4.2115% en base seca es superior al valor 2.85% determinado por **GIACOMETTO** (1986) y cae en el rango 2.08-5.25% reportado por **MOURA** (1982) para harinas de ñames en general.

El contenido de fibra de 4.8450% en base seca supera al valor 2.56% dado por **GIACOMETTO** (1986) y al rango 1.49-2.96% citado por **MOURA** (1982) para harinas de ñames en general. Este resultado se debe a la pérdida de compuestos hidrosolubles y almidón durante el proceso.

CUADRO 22: ANALISIS QUIMICO DE LA HARINA DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.) (Contenido en 100 g)

| C O M P O N E N T E | BASE HUMEDA * | BASE SECA * |
|--|---------------|-------------|
| - Análisis proximal: | | |
| Humedad, g | 6.8927 | - |
| Proteínas, g | 5.0827 | 5.4590 |
| Grasa, g | 0.1438 | 0.1544 |
| Cenizas, g | 3.9212 | 4.2115 |
| Fibra, g | 4.5110 | 4.8450 |
| Carbohidratos, g | 79.4486 | 85.3301 |
| . Azúcares reductores, g | 6.1020 | 6.5537 |
| . Almidón, g | 67.8490 | 72.8718 |
| . Otros carbohidratos, g | 5.4976 | 5.9046 |
| - Acido ascórbico, mg | 70.8297 | 76.0732 |
| - Mucílagos, g | 18.3452 | 19.7033 |
| - Compuestos tóxicos: | | |
| Oxalato de calcio, mg | 43.1063 | 46.2974 |
| Acido cianhídrico libre, mg | 0.0000 | 0.0000 |
| Acido cianhídrico combinado, mg | 15.5667 | 16.7191 |
| Saponinas, g | 2.4373 | 2.6177 |
| Sulfito residual (SO ₂), ppm | 17.6904 | 19.0000 |

* Promedio de dos determinaciones

El nivel de carbohidratos de 85.3301% en base seca es ligeramente inferior al valor 89.33% reportado por **GIACOMETTO** (1986); sin embargo, se ubica en el rango 80.47-82.20% para harinas crudas de pituca (*Colocasia esculenta*), catalogadas como excelente fuente de energía, según **NIETO** (1977).

El contenido de azúcares reductores de 6.5537% en base seca supera al valor 2.55% determinado por **GIACOMETTO** (1986) y puede atribuirse al alto contenido inicial en la materia prima. Este resultado hace que la harina sea un producto susceptible al **ONE** mediante la reacción de Maillard; no obstante, el fenómeno no progresaría dado a la baja A_w del producto.

El nivel de almidón de 72.8718% en base seca es inferior al valor 79.14% dado por **GIACOMETTO** (1986), debido a la pérdida registrada durante el proceso y al bajo nivel en la

materia prima; sin embargo, es ligeramente inferior al rango 73.84-84.80% reportado por **MOURA** (1982) para harinas de flanes en general, demostrando así que el producto es una excelente fuente de energía.

Durante el proceso, los componentes antes mencionados experimentaron pérdidas entre 2 y 5%, excepto la fibra que se incrementó 4.5 veces debido a las pérdidas de los demás compuestos. Las pérdidas se produjeron por lixiviación de las superficies cortadas y por degradación química durante la deshidratación.

El contenido de ácido ascórbico de 70.8297 mg/100 g supera el rango 1.3-9.8 mg/100 g de harina establecido para harinas de consumo nacional: plátano, trigo, pituca, yuca, camote, papa y maíz (**COLLAZOS**, 1993). Este resultado indica que el producto es una buena fuente de vitamina C, no obstante la pérdida de 36.3145 mg en base seca, registrada durante el proceso.

El nivel de mucílagos determinado (19.7033% en base seca) representa el 76% del contenido inicial (25.9316 g en base seca) e indica que el método de eliminación empleado, basado en la propiedad hidrosoluble y termolábil del compuesto, no ha sido eficiente para removerlo, y cuya presencia provoca la dureza y dificulta la molienda del producto, obteniéndose una harina de granulometría poco homogénea.

El contenido de oxalato de calcio de 46.2970 mg/100 g m.s. corresponde al 41% del contenido inicial, el restante se habría perdido por lixiviación y degradación química. Este compuesto no constituye un problema nutricional debido a que sólo dificulta el aprovechamiento del calcio en las ratas y no en el hombre; es más, la harina no va a ser utilizada en forma cruda

sino en la elaboración de productos horneados y cocidos, donde la temperatura reduce significativamente el nivel de oxalato.

El nivel de ácido cianhídrico combinado (glúsido cianogenético) de 16.7191 mg/100 g m.s. representa al 57% del nivel inicial. Su ingestión no es venenoso ya que en el tracto digestivo no existe ninguna β -glucosidasa que lo pueda descomponer, dejando libre al ácido cianhídrico; es más, el organismo dispone de mecanismo de destoxificación.

El contenido de saponinas de 2.6177 mg/100 g m.s. equivale al 48% del contenido inicial. Estas sustancias tienen actividad hemolítica, resultando ser muy tóxicas por inyección en el torrente sanguíneo, pero por vía oral son inofensivas, y según **FENNEMA** (1993) la toxicidad *in vivo* tiene poca importancia.

El nivel de sulfito residual, expresado como SO_2 , es inferior al rango 35-90 ppm establecido para patatas deshidratadas (**WONG**, 1995) y al máximo valor permitido por el **INDECOPI** (50 ppm) para almidones no modificados de uso industrial alimenticio y farmacéutico, citado por **AGUIRRE**, (1992).

4.4.4. Análisis microbiológico

Los resultados del análisis microbiológico de la harina se presentan en los Cuadro 23.

CUADRO 23: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LA HARINA DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.)

| P R U E B A | COLONIAS/GRAMO DE HARINA |
|---------------------------|--------------------------|
| Gérmenes aerobios viables | 1.7×10^2 |
| Coliformes totales | Negativo |
| Mohos y levaduras | 4 |

En el Cuadro se observa que la carga de gérmenes aerobios viables y de mohos y levaduras es inferior al máximo valor permitido por el INDECOPI, para la harina y sémola de maíz (10^4 y 10^2 ufc/g respectivamente); mientras que la de coliformes totales es negativa. Estos resultados demuestran las adecuadas condiciones higiénicas empleadas durante el proceso.

4.4.5. Análisis reológico

4.4.5.1. Característica de flujo

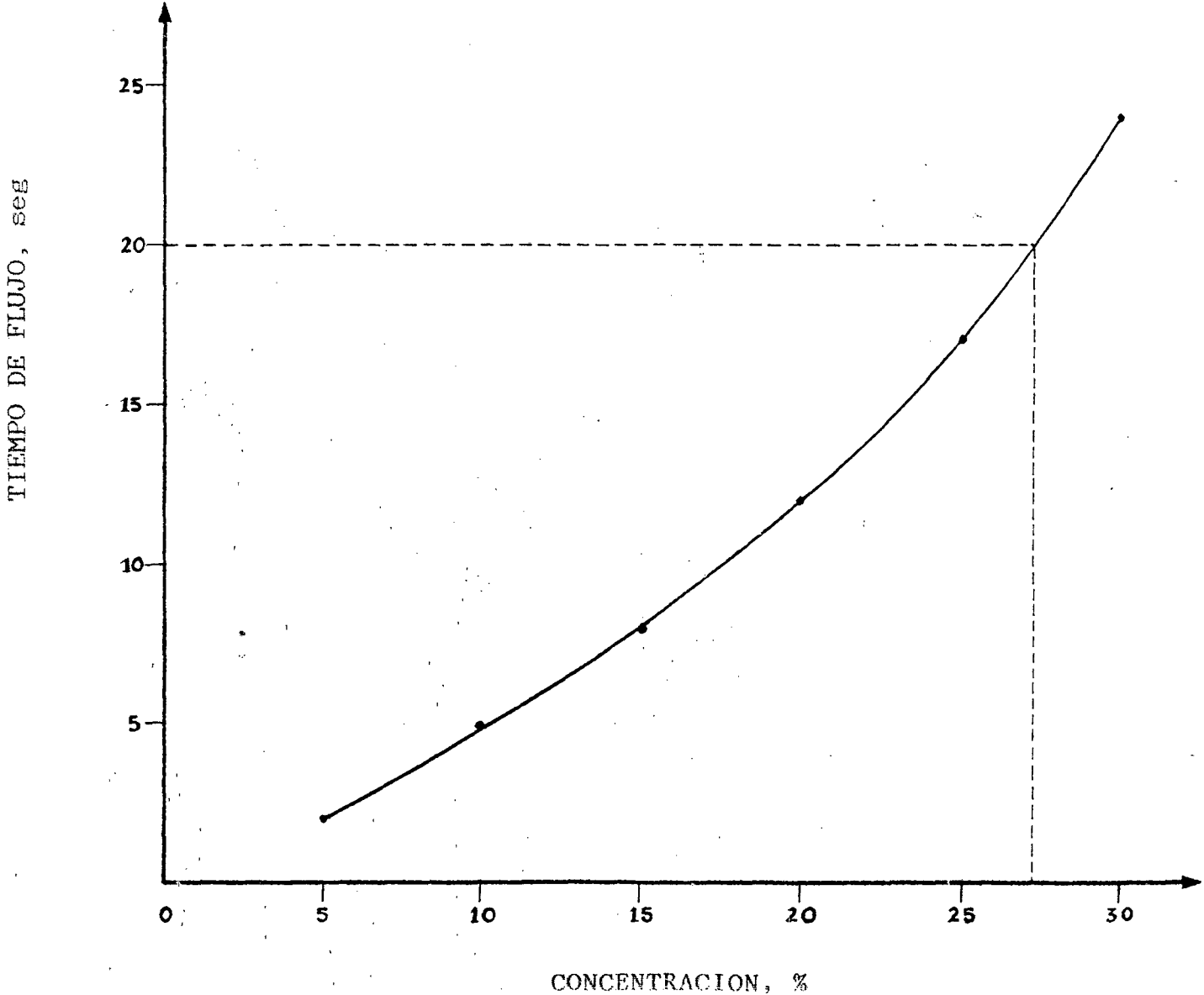
La característica de flujo de la harina en suspensión se muestra en la Figura 14, donde se observa que para 20 segundos de flujo se requiere alcanza con una concentración de 27.30%, valor que cae en el rango 24.50-32.30% para harinas crudas de pituca (*Colocasia esculenta*), consideradas como de baja capacidad de absorción de agua. Las harinas cocidas, debido a la modificación del almidón, tienen mayor capacidad de absorción y requieren menor concentración para fluir en 20 segundos (NIETO, 1977).

4.4.5.2. Índice de absorción y solubilidad

Se registró un índice de absorción de 2.35 g gel/g muestra, ligeramente inferior a los valores 2.42-2.65 g gel/g muestra para harinas crudas de pituca, según NIETO (1977). Este resultado se atribuye al alto contenido de amilosa en el almidón. Según CHEFTEL (1988) los gránulos ricos en amilopectina absorben mucho más agua que los que contienen mucha amilosa.

La harina experimentó 1.38% de solubilidad, valor ligeramente superior al rango 0.970-1.288% para harinas crudas de pituca, reportado por NIETO (1977), este resultado se debe al alto contenido de sólidos solubles en la harina, básicamente azúcares reductores.

FIGURA 14: CARACTERISTICA DE FLUJO DE LA HARINA DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.)



4.4.5.3. Viscosidad

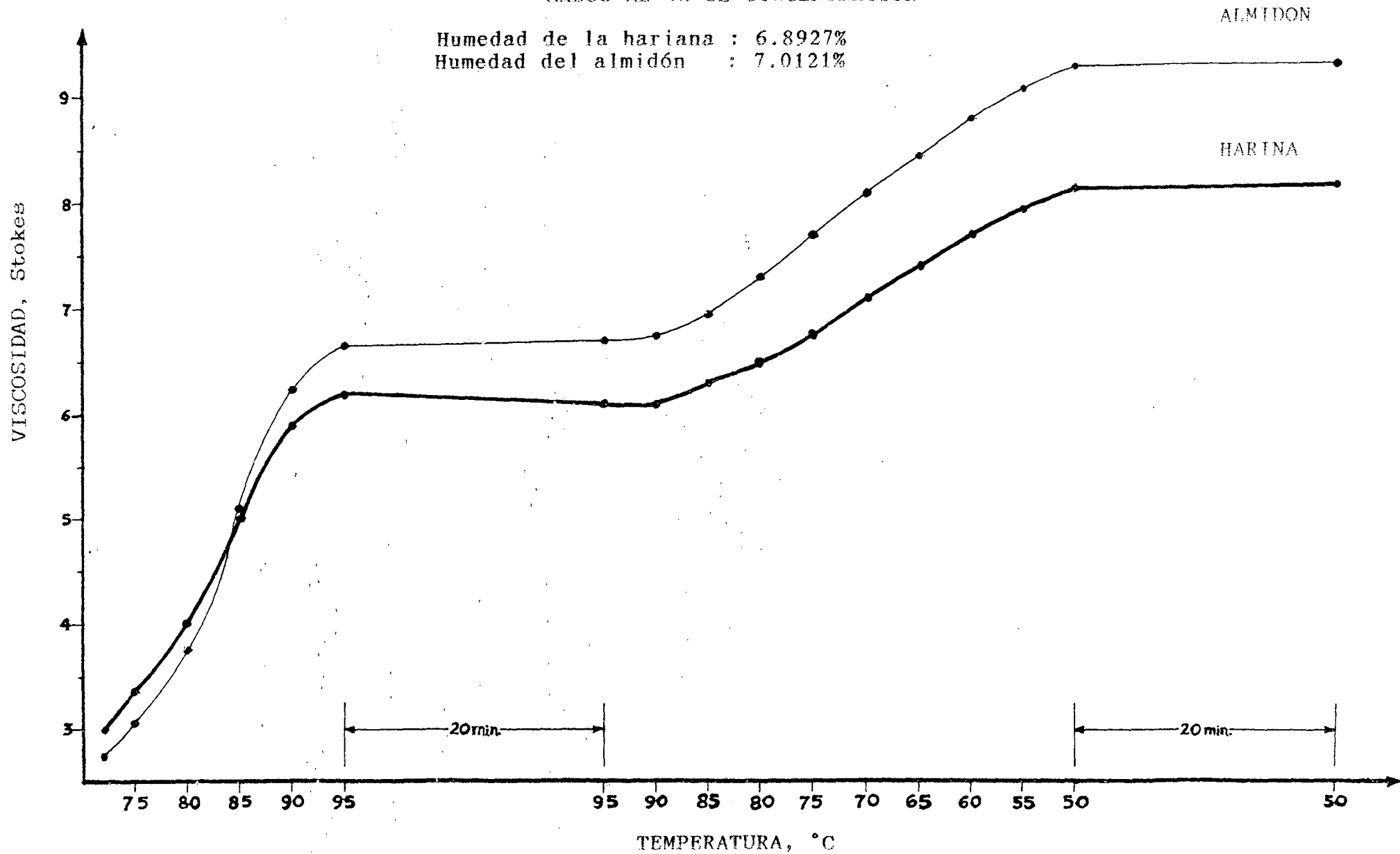
Con fines comparativos, la Figura 15 muestra el comportamiento de la viscosidad del almidón y de la harina en función de la temperatura; estas curvas fueron elaboradas empleando los datos de los Cuadros 12 y 24, respectivamente.

En la figura se observa que ambos productos coinciden en el inicio del incremento de viscosidad (72°C), el cual indica el inicio de la gelatinización de los gránulos de almidón.

Durante el calentamiento, la harina presenta mayor viscosidad que el almidón debido a la presencia de proteínas cuyos grupos polares ligan moléculas de agua aumentando la viscosidad de la suspensión. Este comportamiento culmina a los 85°C , temperatura en la que se supone las proteínas pierden la capacidad de absorber más agua debido a la desnaturalización. Al finalizar el calentamiento a 95°C y durante las etapas siguientes: 20 minutos a 95°C , enfriamiento hasta 50°C y 20 min a 50°C , el almidón experimenta mayor viscosidad que la harina.

En forma general, el comportamiento de la harina es similar al del almidón. Esto indica que el efecto del almidón como componente es determinante de las propiedades viscoamilográficas de las pastas de harina. Además, ambas curvas son típicas de almidones con alto contenido de amilosa y de tendencia retrogradativa.

FIGURA 15: VISCOGRAMA DE LA HARINA Y DEL ALMIDON DE PAPA AEREA (Dioscorea bulbifera L.)
AMBOS AL 4% DE CONCENTRACION



CUADRO 24: VARIACION DE LA VISCOSIDAD DE LA HARINA DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.) EN FUNCION DE LA TEMPERATURA

Concentración : 4%

Humedad de la harina : 6.8927%

| CALENTAMIENTO | | ENFRIAMIENTO | |
|------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| TEMPERATURA (°C) | VISCOSIDAD (Stokes) | TEMPERATURA (°C) | VISCOSIDAD (Stokes) |
| 72 | 3.00 | 95 | 6.10 |
| 75 | 3.35 | 90 | 6.10 |
| 80 | 4.00 | 85 | 6.30 |
| 85 | 5.00 | 80 | 6.50 |
| 90 | 5.90 | 75 | 6.75 |
| 95 | 6.20 | 70 | 7.10 |
| - | - | 65 | 7.40 |
| - | - | 60 | 7.70 |
| - | - | 55 | 7.95 |
| - | - | 50 | 8.15 |
| - | - | 50 | 8.20 |

4.5. DEL ALMACENAMIENTO

La harina obtenida siguiendo el diagrama de flujo óptimo fue sometida a almacenamiento bajo condiciones ambientales (27.75°C y 73% HR, en promedio) durante 60 días, realizándose controles periódicos de los principales indicadores químicos y microbiológicos.

La vida útil del producto se puede alargar mediante el empacado al vacío, usando empaques adecuados, cuya determinación es motivo de posteriores estudios.

4.5.1. Análisis químico

Los resultados de los análisis químicos realizados se muestran en el Cuadro 25.

CUADRO 25: ANALISIS QUIMICO DE LA HARINA DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.) DURANTE EL ALMACENAMIENTO

| PARAMETROS | TIEMPO (DIAS) | | |
|---|---------------|--------|--------|
| | 0 | 30 | 60 |
| - Humedad, % | 6.8927 | 6.8998 | 6.9000 |
| - Azúcares reductores (Glucosa), % | 6.1020 | 6.1101 | 6.1243 |
| - Compuestos melanoidinos (Absorbancia a 420 nm) | 0.4200 | 0.4210 | 0.4230 |
| - pH | 6.6700 | 6.6700 | 6.6800 |
| - Acidez titulable (H ₂ SO ₄), % | 0.1370 | 0.1360 | 0.1360 |

En el Cuadro se observa un ligero incremento de la humedad durante los primeros 30 días, luego permanece constante. Este fenómeno se debe al efecto del aire atrapado durante el empacado. Sin embargo, ninguno de estos valores superan el rango óptimo para la estabilidad de productos deshidratados de yuca y ñame (6.5-8.0%), determinado por **ONAYEMI** (1987).

El contenido de azúcares reductores (expresado como glucosa) experimenta un ligero aumento, lo que indica la progresiva degradación del almidón y susceptibilidad de la harina al pardeamiento no enzimático.

Los compuestos melanoidinos, expresados como absorbancia de los compuestos solubles en etanol al 80%, sufren un leve incremento. La formación de estos compuestos habría sido controlado por la baja A_w de la harina (0.23), que es inferior al valor óptimo para la reacción de Maillard (0.5-0.7). A esto puede añadirse el efecto inhibitor del sulfito y el bajo contenido de grasas, ya que la degradación de las grasas promueve la oxidación

del ácido ascórbico, uno de los mecanismos de pardeamiento no enzimático.

Los valores de pH y acidez titulable no experimentan cambios, demostrando así la reducida liberación de ácidos grasos durante el almacenamiento.

4.5.2. Análisis microbiológico

En el Cuadro 26 se presentan los resultados del análisis microbiológico de la harina, luego de 60 días de almacenamiento.

CUADRO 26: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LA HARINA DE PAPA AEREA (Dioscorea bulbifera L.) AL FINALIZAR EL ALMACENAMIENTO

| P R U E B A | COLONIAS/GRAMO DE HARINA |
|---------------------------|--------------------------|
| Gérmenes aerobios viables | 2.8×10^2 |
| Coliformes totales | Negativo |
| Mohos y levaduras | 9 |

En el Cuadro 26 se observa que a excepción de los coliformes totales, hay un ligero incremento de la carga microbiana, que puede atribuirse a la contaminación secundaria registrada durante el empaclado. Sin embargo, resulta inferior a los máximos valores permitidos por el INDECOPI, para la harina y sémola de maíz. Por otra parte, la baja A_w habría contribuido a la relativa estabilidad del producto frente a los microorganismos.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y a los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación se concluye:

1. Es factible la obtención de harina de Papa Aérea (*Dioscorea bulbifera* L.) de óptima calidad mediante deshidratación con aire caliente, de acuerdo al siguiente flujo de procesamiento: Materia prima, selección, lavado, pelado manual, cortado, sulfitado, oreo, deshidratación, molienda, tamizado, envasado y almacenamiento, alcanzando un rendimiento harinero de 17.67%.
2. Los tubérculos de Papa Aerea (*Dioscorea bulbifera* L.) constituyen un alimento energético, debido a al alto nivel de carbohidratos (88.6548% en base seca), básicamente almidón en 75.6905% en base seca; además son ricos en minerales (4.3971% en base seca) y en ácido ascórbico (112.3877 mg/100 g m.s.), pero en cuanto al contenido de proteínas (5.7296% en base seca) alcanzan niveles intermedios establecidos para tubérculos y raíces tropicales. Registraron bajos niveles de compuestos tóxicos (Oxalato de Calcio, 112.1727 mg/100 g m.s.; Acido Cianhídrico combinado, 29.4516 mg/100 g m.s.; Saponinas, 5.4379% en base seca), los cuales no representan ningún problema nutricional, dado a los mecanismos de detoxificación existentes durante el procesamiento y dentro del organismo.
3. La composición química del almidón de Papa Aérea (*Dioscorea bulbifera* L.) está dada por un alto contenido de amilosa (23.30%), el cual determina una alta temperatura de gelatinización (69 - 80°C) y una curva de viscosidad típica de almidones de lenta gelatinización, resistentes al tratamiento térmico y de tendencia retrogradativa.

4. Debido a la eficiente remoción del córtex de color verde, el pelado manual conllevó a la obtención de harina de óptima calidad, con una merma de 19.50%.
5. Se obtiene y conserva un buen color en la harina de Papa Aérea (*Dioscorea bulbifera* L.) empleando una solución de bisulfito de sodio al 0.30% con un tiempo de inmersión de 5 minutos, registrándose un nivel de SO_2 residual de 17 ppm en base seca.
6. El tiempo de deshidratación a la temperatura óptima de $65^{\circ}C$, fue de 6,92 horas en las muestras blanqueadas (1 y 3), 8.50 horas en las muestras sulfitadas (2 y 4) y 11.50 horas en la muestra cocida (5).
7. El valor monomolecular de la harina fue de 6.4106 y 5.6930 g $H_2O/100$ g m.s., según el modelo de G.A.B. y B.E.T., respectivamente, y su A_w (0.23) se halla en el rango óptimo para la estabilidad de alimentos deshidratados.
8. Los parámetros granulométricos (ángulo de reposo, 30.50° ; módulo de finura, 1.6446) indican que la harina obtenida siguiendo el diagrama de flujo óptimo corresponde a la clasificación "fina". Esta harina constituye una excelente fuente de energía y vitamina C y no representa ningún problema toxicológico.
9. La reducida carga microbiana de la harina, tanto de gérmenes viables, coliformes y hongos (mohos y levaduras), demuestra las estrictas condiciones higiénicas empleadas en el proceso.

VI. RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo, se recomienda lo siguiente:

1. Continuar con los estudios agronómicos sobre ésta y otras especies de ñames o sachapapas existentes en la Región San Martín-Perú, a fin de obtener materiales seleccionados para la industria.
2. Incentivar el cultivo y consumo de la papa aérea (*Dioscorea bulbifera L.*) y de otras especies de ñames regionales.
3. Efectuar estudios más detallados sobre la extracción y caracterización físicoquímica del almidón de papa aérea y de otras especies de ñames.
4. Realizar la prueba funcional de panificación, previa determinación de las propiedades farinográficas y extensográficas de la harina obtenida.
5. Estudiar la posibilidad de uso de la harina obtenida en panificación, galletería, productos formulados y otros.
6. Estudiar la posibilidad de obtención de otros productos a partir de tubérculos de papa aérea y de otras especies de ñames.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. AGBOR, T.; 1995. **Evaluation of the Chemical Composition of Cameroonian Yam Germplasm.** Journal of Food Composition and Analysis. Yaounde-Cameroon. 8(3):274-293.
2. AGUIRRE, E.B.; 1992. **Obtención de Jarabe de Glucosa por Vía Enzimática a Partir de Almidón de Umarí (Poraqueiba seriaceae Tulasne).** Tesis M.Sc. Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. 93 pásg.
3. AKORODA, O.; 1987. **Incorporating Tuber Peels in White Yam Flour.** Tropical Science. Ibadan-Nigeria. 27(4):239-248.
4. ALVARADO, J.D.; 1990. **Isoterma de Desorción en Harinas de Amaranto.** Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Guatemala. 40(3):387-394.
5. ANZALDUA, A.; 1994. **La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica.** Editorial Acribia. Zaragoza-España. 198 págs.
6. A.O.A.C.; 1970. **Official Methods of Analysis.** Association of Official Agriculture Chemists. 11ava. Edition. U.S.A.
7. BADUI, S.; 1984. **Química de los Alimentos.** 2da Edición. Editorial Alhambra. México.
8. BAQUAR, S.; 1977. **Mineral Constituents of Nigerian Yams.** Nutrition Reports International. Ife-Nigeria. 15(3):265-272.

9. BRADBURY H., J.; 1986. **Ascorbic Acid and Dehydroascorbic Acid Content of Tropical Root Crops from the South Pacific.** Journal of Food Science. Camberra-Australia. 51(4):975-987.
10. BRENNAN, J.; 1980. **Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos.** Editorial Acribia. Zaragoza-España. 540 pags.
11. C.E.R.; 1991. **Teoría y Práctica del Secado Solar.** Centro de Energías Renovables de la Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú. 254 pags.
12. COLLAZOS, et al; 1993. **La Composición de los Alimentos de Mayor Consumo en el Perú.** 6ta. Edición. Ministerio de Salud. Lima-Perú. 63 pags.
13. CORDOVA, P.; 1993. **Alimentación Animal.** Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Lima-Perú. 244 pags.
14. CHARLEY, H.; 1987. **Tecnología de Alimentos: Procesos Químicos y Físicos en la Preparación de Alimentos.** Editorial Limusa. México. 767 pags.
15. CHEFTEL, C.; 1983. **Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos.** Vol II. Editorial Acribia. Zaragoza-España. 404 pags.
16. CHEFTEL, C.; 1988. **Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos.** Vol I. 1ra Reimpresión. Editorial Acribia. Zaragoza-España. 333 pags.
17. D.A.C.; 1990. **Determination of Ascorbic Acid for Spectrofotometry.** Departament of Agriculture from Canada.

18. DESROSIER, N.; 1993. **Conservación de Alimentos**. 2da Edición. C.E.C.S.A. de C.V. México. 468 pags.
19. EVANS, C.; 1995. **Farmacognoscia**. 13ava Edición. Iiteramericana-Mc Graw Hill. México. 901 pags.
20. EZEIKE, G.O.; 1984. **An Analysis of Weight Loss of Stored Yam (*Dioscorea spp*) Tubers**. Canadian Agricultural Engineering. Nsukka-Nigeria. 26(2):115-119.
21. FABOYA, O.O.; 1981. **The Fatty Acid Composition of Some Tubers Grown in Nigeria**. Food Chemistry. Ibadan-Nigeria. 7(2):151-154.
22. F.A.O.; 1990. **Utilización de Alimentos Tropicales: Raíces y Tubérculos**. Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación. Roma-Italia. 66 pags.
23. FELLOWS, P.; 1994. **Tecnología del Procesado de los Alimentos: Principios y Prácticas**. Editorial Acribia. Zaragoza-España. 549 pags.
24. FENNEMA, O.R.; 1993. **Química de los Alimentos**. 2da. Edición. Editorial Acribia S.A. Zaragoza-España. 1095 pags.
25. FRANCIS, B.; 1975. **Yams as a Source of Edible Protein**. Tropical Science. London-U.K. 17(2):103-110.
26. FRANCO, G.; 1992. **Tabela de Composicao Química dos Alimentos**. 9na Edición. Editorial Atheneu. Sao Paulo-Brasil.
27. GEANKOPLIS, G.; 1982. **Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias**. 1ra Edición en Español. Editorial Continental. México. 759 pags.

28. GIACOMETTO, F.A.; 1986. **A Farinha de Cará-de-Rama (*Dioscorea bulbifera* L.): I. Producao e Composicao Química.** Arq.Biol.Tecnol. Curitiba-Brazil. 29(4):651-660.
29.; 1987. **A Farinha de Cará-de-Rama (*Dioscorea bulbifera* L.): II. Propiedades dos Gránulos do Amido.** Arq.Biol.Tecnol. Curitiba-Brazil. 30(2):317-325.
30.; 1987. **A Farinha de Cará-de-Rama (*Dioscorea bulbifera* L.): III. Propiedades Reológicas das Pastas de Amido.** Arq.Biol.Tecnol. Curitiba-Brazil. 30(3):463-479.
31. GUNNAR, S.; 1992. **Drugs of Natural Origen: A Textbook of Pharmacognosy.** Third Edition. Swedish Pharmaceutical Press. Sweden. 320 pags.
32. IRELAND, C.; 1985. **Effect of Exogenous Batatasin, Batatasin Analogues an Gibberellins on the Dormancy of Stored Yam Tubers.** Tropical Agriculture. London-U.K. 62(1):41-46.
33. JUAREZ, E.; 1995. **Cultivos de Suelos Acidos: Paquetes Tecnológicos y Avances de Investigación.** Fundación para el Desarrollo Agrario del Alto Mayo. Moyobamba-Perú. 50 pags.
34. KIBUUKA, G.; 1983. **Isolamento, Caracterizacao Físico-química e Perspectivas Tecnológicas do Amido de Cará-de-Rama (*Dioscorea bulbifera* L. Opsofiton).** Boletín da Sociedade Brasileira de Ciencia e Tecnologia de Alimentos. Campinas-Brazil. 17(3):255-265.
35. KIM, W.; 1991. **Physicochemical Properties of Several Korean Yam Starches.** Korean Journal of Food Science and Technology. Seul-Korea Republic. 23(5):554-560.

36. KOUSSI, B.; 1990. **Soluble Sugars from Yam and Changes During Tuber Storage.** Phytochemistry. Abidjan-Ivoty Coast. 29(4):1069-1072.
37. LABUZA, T.; 1983. **Moisture Sorption: Practical Aspects of Isotherm Measurement and Use.** American Association of Cereal Chemists. St. Paul Minnesota-U.S.A.
38. LEON, J.; 1987. **Botánica de los Cultivos Tropicales.** Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José- Costa Rica. 445 pags.
39. LINDNER, E.; 1978. **Toxicología de los Alimentos.** Editorial Acribia. Zaragoza-España. 138 pags.
40. 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 pags.
41. MARTIN, F.; 1975. **Bitterness of Dioscorea cayenensis.** Journal of Agricultural and Food Chemistry. Mayaguez- Puerto Rico. 23(6):1218-1219.
42.; 1980; **The Question of Toxicity of Edible Yams** (In 2nd International Seminar on Yams G'See FSTA (1984) 16 G2J286). Mayaguez- Puerto Rico. Pags 31-39.
43. MARTINEZ, E.; 1988. **Manual de Prácticas de Análisis de los Alimentos.** Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto- Perú. 118 pags.

44.; 1995. **Manual de Prácticas de Microbiología Aplicada**. Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto-Perú. 72 pags.
45. MATOSSIAN, M. 1980. **Efeito da Adicao de Farinha de Cará (*Dioscorea alata* L.) na Qualidade Tecnológica da Farinha de Trigo de Alta Extração**. Informativo Anual. Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola da Universidad Estadual de Campinas. Campinas-Brazil. N° 8:30-33.
46. MENDIETA, O.W.; 1991. **Elaboración de Sopas Deshidratadas Empleando Pulpa de Sardina (*Sardinops sagax sagax*), Habas, Maíz y Quinoa**. Tesis M.Sc. Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. 194 pags.
47. MENDIETA, O.W. Y MEDINA, M.L.; 1994. **Manual de Prácticas de Laboratorio de Ingeniería de Alimentos**. Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto-Perú. 97 pags.
48. MONTALDO, A.; 1991. **Cultivo de Raíces y Tubérculos Tropicales**. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José-Costa Rica. 407 pags.
49. MOURA, L.; 1982. **Protein Content and Amino Acid Composition of Yams, *Dioscorea* spp.** Boletim Técnico Do Centro de Tecnología Agrícola e Alimentar. Rio de Janeiro-Brazil. N° 15:1-15.
50. MOZIE, O.; 1988. **Effect of Storage Temperatura on Storage Weight Losses in White Yam (*Dioscorea rotundata* Poir) Tubers**. Tropical Science. Nsukka-Nigeria. 28(4):273-275.

51. NIETO, H.M.; 1977. **Estudio Técnico de la Deshidratación de Dos Variedades de Pituca (*Colocacia esculenta*) por Flujo de Aire Caliente y Caracterización de las Harinas.** Tesis Ing. Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. 152 pags.
52. OCON, J.; 1980. **Problemas de Ingeniería Química.** Tomo II. Editorial Aguilar. Madrid-España. 416 pags.
53. OGUNDANA, S.; 1981. **Assessment of Fungicides for the Prevention of Storage Root of Yam Tubers.** Pesticides Science. Norwich-U.K. 12(5):491-494.
54. OMOLE, A.; 1978. **The Nutritive Value of Tropical Fruit and Root Crops.** Nutrition Reports International. Ile-Ife-Nigeria. 17(5):575-580.
55. ONAYEMI, O.; 1987. **Moisture Equilibrio of Some Dehydrated Cassava and Yam Productos.** Juornal of Food Process Engineering. Ile-Ife-Nigeria. 9(3):191-200.
56. OZO, O.; 1984. **Phenolics of Five Yam (*Dioscorea*) Species.** Phytochemistry. London-U.K. 23(2):329-331.
57.; 1986. **O-Dihydroxyphenoloxidase Action on Natural Polyhydric Phenolics and Enzymic Browning of Edible Yams.** Journal of the Science of Food and Agriculture. London-U.K. 37(3):283-288.
58. PANTASTICO, E.R.; 1984. **Fisiología de la Postrecolección, Manejo y Utilización de Frutas y Hortalizas Tropicales y Subtropicales.** 2da Impresión. CECSA-México. 663 pags.

59. PASSAM, M.; 1982. **Gibberellic Acid Dip Slows Yam Decay.** International Agricultural Development. London-U.K. 2(9):10-11.
60. PEARSON, D.; 1986. **Técnicas de Laboratorio para el Análisis de Alimentos.** 1ra Reimpresión. Editorial Acribia. Zaragoza-España. 331 pags.
61. POTTER, N.; 1978. **La Ciencia de los Alimentos.** Edutex S.A. México. 749 pags.
62. RANKEN, M.; 1993. **Manual de Industrias de los Alimentos.** 2da Edición. Editorial Acribia. Zaragoza-España. 331 pags.
63. RIDWAY, R.; 1912. **Color Standards and Nomenclature.** A Hoen & Company. Washington D.C.-U.S.A. Plate LIII.
64. RIVERA, J.M.; 1972. **Lye Peeling of Fresh Yam, *Dioscorea alata*.** Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico. Mayaguez-Puerto Rico. 56(1):57-63.
65.; 1974. **Sprout Inhibition in Yam by Gamma Irradiation.** Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico. Mayaguez-Puerto Rico. 58(3):330-337.
66. RODRIGUEZ, E.J.; 1981. **Absorption of Sulfur Dioxide by Habanero (*Dioscorea rotundata*) Yam.** Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico. Río Piedras-Puerto Rico. 65(3):258-263.
67. 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 pags.

68. 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.
69. SCOTT, J.; 1992. **Desarrollo de Productos de Raíces y Tubérculos.** Vol II. Centro Internacional de la Papa. Lima-Perú. 375 pags.
70. SHI, T.; 1984. **Studies on the Mucilage from Yam (Dioscorea alata Linn.) Tubers: I Isolation and Purification of Mucilage.** Journal of the Chinese Agricultural Chemical Society. Taiwan. 22(1/2):88-94.
71. SHU, S.; 1974. **The Protein Quality of Yam (Dioscorea spp).** IV Interantional Congress of Food Science and Technology. Texas-U.S.A. 8b:25-27.
72. SOTO, N.; 1991. **Determinación de Azúcares Reductores Mediante el Método D.N.S.** Escuela de Graduados Facultad de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. 3 pags.
73. SPLITTSTOESSER, W.; 1977. **Protein Quality and Quantity of Tropical Roots and Tubers.** Hort Science. Illinois-U.S.A. 12(4i):294-298.
74. SUZUKI, A.; 1986. **Physicochemical Properties of Nagaimo (Yam) Starch.** Journal of the Japanese Society of Starch Science. Osaka-Japan. 33(3):191-198.
75. TRECHE, S.; 1996. **Biochemical Changes Occuring During Growth and Storage of Two Yam Species.** International Journal of Food Sciences and Nutrition. Yaounde - Cameroon. 47(2):93-102.

76. U.N.I.F.E.M.; 1993. **Food Cycle Technology Source Book N° 8: Storage**. The United Nations Development Fund For Women. New York-U.S.A. 46 pags.
77. USTIMENKO, V.; 1982. **El Cultivo de Plantas Tropicales y Subtropicales**. Editorial MIR. Moscú-U.R.S.S. 430 pags.
78. VIAN, A.; OCON, J.; 1979. **Elementos de Ingeniería Química**. Editorial Aguilar. Madrid-España. 812 pags.
79. WANASUNDERA, J.; 1994. **Nutritional Absessment of Yam (*Dioscorea alata*) Tubers**. Plant Foods for Human Nutrition. Peradeniya-Sri Lanka. 46(1):33-39.
80. WEBSTER, J.; 1984. **Toxicity and Bitterness in Australian *Dioscorea bulbifera* L. and *Dioscorea hispida* Dennst. from Thailand**. Journal of Agricultural and Food Chemistry. Victoria-Australia. 32(5):1087-1090.
81. WICKHAM, L.; 1984. **Dormancy Responses to Post-harvest Application of Growth Regulators in *Dioscorea* Species: II Dormancy Responses in Ware Tubers of *Dioscorea alata* and *Dioscorea esculenta***. Journal of Agricultural Science. St. Augustine-Trinidad. 102(2):433-436.
82. WONG, D.; 1995. **Química de los Alimentos: Mecanismos y Teoría**. Editorial Acribia. Zaragoza-España. 476 pags.
83. ZEVALLOS, M.L.; 1985. **Estudio Botánico y Químico del Tuberculo de *Dioscorea bulbifera* L. (Papa Magona)**. Tesis Bach. Farmacia y Bioquímica. Universidad Católica Santa María. Arequipa-Perú. 99 pags. ONG, D.; 1995. **Química de los Alimentos: Mecanismos y Teoría**. Editorial Acribia. Zaragoza-España. 476 pags.

VIII. A N E X O S

ANEXO 01: DATOS EXPERIMENTALES DE DESHIDRATACION DE TUBERCULOS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.) A 65°C.

CUADRO 1.1: DESHIDRATACION DE LA MUESTRA 1 (PELADO MANUAL-BLANQUEADO)

| TIEMPO | | x (Kg H2O/Kg m.s.) | \bar{x} (Kg H2O/Kg m.s.) | R (Kg H2O/hr.m ²) |
|--------|------|-----------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| min | hr | | | |
| 0 | 0.00 | 3.6006 | - | - |
| 10 | 0.17 | 3.3913 | 3.4960 | 1.4945 |
| 20 | 0.33 | 3.1722 | 3.2818 | 1.5623 |
| 30 | 0.50 | 3.1722 | 3.0662 | 1.5124 |
| 40 | 0.67 | 2.7454 | 2.8528 | 1.5309 |
| 50 | 0.83 | 2.5309 | 2.6382 | 1.5295 |
| 60 | 1.00 | 2.3197 | 2.4253 | 1.5059 |
| 75 | 1.25 | 1.9954 | 2.1576 | 1.5415 |
| 90 | 1.50 | 1.6758 | 1.8356 | 1.5193 |
| 105 | 1.75 | 1.3755 | 1.5257 | 1.4275 |
| 120 | 2.00 | 1.1030 | 1.2394 | 1.2939 |
| 140 | 2.33 | 0.8452 | 0.9773 | 0.9202 |
| 160 | 2.67 | 0.6309 | 0.7381 | 0.7640 |
| 180 | 3.00 | 0.4555 | 0.5432 | 0.6253 |
| 200 | 3.33 | 0.3391 | 0.3973 | 0.4150 |
| 220 | 3.67 | 0.2680 | 0.3036 | 0.2535 |
| 240 | 4.00 | 0.2192 | 0.2436 | 0.1740 |
| 260 | 4.33 | 0.1830 | 0.2011 | 0.1291 |
| 280 | 4.67 | 0.1560 | 0.1695 | 0.0963 |
| 300 | 5.00 | 0.1350 | 0.1455 | 0.0749 |
| 320 | 5.33 | 0.1182 | 0.1266 | 0.0599 |
| 340 | 5.67 | 0.1047 | 0.1115 | 0.0481 |
| 360 | 6.00 | 0.0940 | 0.0994 | 0.0381 |
| 390 | 6.50 | 0.0814 | 0.0877 | 0.0299 |
| 415 | 6.92 | 0.0736 | 0.0775 | 0.0222 |

x : Humedad total

R : Velocidad de secado

\bar{x} : Humedad total promedio

S/A : 1.1884 Kg m.s./m²

CUADRO 1.2: DESHIDRATACION DE LA MUESTRA 2 (PELADO MANUAL-SULFITADO)

| TIEMPO | | x | \bar{x} | R |
|--------|------|-------------------------------|-------------------------------|--|
| min | hr | (Kg H ₂ O/Kg m.s.) | (Kg H ₂ O/Kg m.s.) | (Kg H ₂ O/hr.m ²) |
| 0 | 0.00 | 3.3209 | - | - |
| 10 | 0.17 | 3.1433 | 3.2321 | 1.3461 |
| 20 | 0.33 | 3.9685 | 3.0559 | 1.3272 |
| 30 | 0.50 | 3.7932 | 2.8809 | 1.3309 |
| 40 | 0.67 | 2.6128 | 2.7030 | 1.3697 |
| 50 | 0.83 | 2.4392 | 2.5260 | 1.3180 |
| 60 | 1.00 | 2.2618 | 2.3505 | 1.3469 |
| 75 | 1.25 | 1.9954 | 2.1286 | 1.3481 |
| 90 | 1.50 | 1.7362 | 1.8658 | 1.3120 |
| 105 | 1.75 | 1.5096 | 1.6229 | 1.1470 |
| 120 | 2.00 | 1.3185 | 1.4141 | 0.9673 |
| 140 | 2.33 | 1.0947 | 1.2066 | 0.8496 |
| 160 | 2.67 | 0.9093 | 1.0020 | 0.7038 |
| 180 | 3.00 | 0.7476 | 0.8285 | 0.6138 |
| 200 | 3.33 | 0.6185 | 0.6831 | 0.4901 |
| 220 | 3.67 | 0.5134 | 0.5660 | 0.3990 |
| 240 | 4.00 | 0.4342 | 0.4738 | 0.3007 |
| 260 | 4.33 | 0.3738 | 0.4040 | 0.2293 |
| 280 | 4.67 | 0.3262 | 0.3504 | 0.1780 |
| 300 | 5.00 | 0.2822 | 0.3046 | 0.1697 |
| 320 | 5.33 | 0.2425 | 0.2624 | 0.1507 |
| 340 | 5.67 | 0.2094 | 0.2260 | 0.1257 |
| 360 | 6.00 | 0.1816 | 0.1955 | 0.1055 |
| 390 | 6.50 | 0.1475 | 0.1646 | 0.0863 |
| 420 | 7.00 | 0.1220 | 0.1348 | 0.0645 |
| 450 | 7.50 | 0.1022 | 0.1121 | 0.0501 |
| 480 | 8.00 | 0.0865 | 0.0944 | 0.0397 |
| 510 | 8.50 | 0.0740 | 0.0803 | 0.0316 |

x : Humedad total

R : Velocidad de secado

\bar{x} : Humedad total promedio

S/A : 1.2654 Kg m.s./m²

CUADRO 1.3: DESHIDRATACION DE LA MUESTRA 3 (PELADO QUIMICO-BLANQUEADO)

| TIEMPO | | x (Kg H2O/Kg m.s.) | \bar{x} (Kg H2O/Kg m.s.) | R (Kg H2O/hr.m2) |
|--------|------|-----------------------|-------------------------------|---------------------|
| min | hr | | | |
| 0 | 0.00 | 3.6203 | - | - |
| 10 | 0.17 | 3.4040 | 3.5122 | 1.5358 |
| 20 | 0.33 | 3.1863 | 3.2952 | 1.5458 |
| 30 | 0.50 | 3.9681 | 2.0772 | 1.5493 |
| 40 | 0.67 | 2.7501 | 2.8591 | 1.5479 |
| 50 | 0.83 | 2.5332 | 2.6417 | 1.5401 |
| 60 | 1.00 | 2.3187 | 2.4260 | 1.5230 |
| 75 | 1.25 | 1.9948 | 2.1568 | 1.5332 |
| 90 | 1.50 | 1.6679 | 1.1314 | 1.5474 |
| 105 | 1.75 | 1.3534 | 1.5107 | 1.4887 |
| 120 | 2.00 | 1.0957 | 1.2246 | 0.2198 |
| 140 | 2.33 | 0.8264 | 1.9611 | 0.9561 |
| 160 | 2.67 | 0.6083 | 1.7174 | 0.7743 |
| 180 | 3.00 | 0.4364 | 0.5224 | 0.6103 |
| 200 | 3.33 | 0.3276 | 0.3820 | 0.3863 |
| 220 | 3.67 | 0.2602 | 0.2939 | 0.2393 |
| 240 | 4.00 | 0.2137 | 0.2370 | 0.1651 |
| 260 | 4.33 | 0.1780 | 0.1959 | 0.1267 |
| 280 | 4.67 | 0.1475 | 0.1628 | 0.1083 |
| 300 | 5.00 | 0.1280 | 0.1378 | 0.0692 |
| 320 | 5.33 | 0.1145 | 0.1213 | 0.0479 |
| 340 | 5.67 | 0.1035 | 0.1090 | 0.0391 |
| 360 | 6.00 | 0.0935 | 0.0985 | 0.0355 |
| 390 | 6.50 | 0.0814 | 0.0814 | 0.0286 |
| 415 | 6.92 | 0.0738 | 0.0738 | 0.0216 |

x : Humedad total

R : Velocidad de secado

\bar{x} : Humedad total promedio

S/A : 1.1834 Kg m.s./m²

CUADRO 1.4: DESHIDRATAION DE LA MUESTRA 4 (PELADO QUIMICO-SULFITADO)

| TIEMPO | | x (Kg H2O/Kg m.s.) | \bar{x} (Kg H2O/Kg m.s.) | R (Kg H2O/hr.m2) |
|--------|------|-----------------------|-------------------------------|---------------------|
| min | hr | | | |
| 0 | 0.00 | 3.3282 | - | - |
| 10 | 0.17 | 3.1650 | 3.2516 | 1.3112 |
| 20 | 0.33 | 3.9850 | 3.0750 | 1.3611 |
| 30 | 0.50 | 3.8039 | 2.8945 | 1.3694 |
| 40 | 0.67 | 2.6226 | 2.7134 | 1.3710 |
| 50 | 0.83 | 2.4421 | 2.5324 | 1.3649 |
| 60 | 1.00 | 2.2620 | 2.3521 | 1.3619 |
| 75 | 1.25 | 1.9928 | 2.1274 | 1.3571 |
| 90 | 1.50 | 1.7203 | 1.8566 | 1.3737 |
| 105 | 1.75 | 1.4811 | 1.6007 | 1.2059 |
| 120 | 2.00 | 1.2978 | 1.3695 | 0.9241 |
| 140 | 2.33 | 1.0735 | 1.1857 | 0.8481 |
| 160 | 2.67 | 0.8882 | 0.9804 | 0.7006 |
| 180 | 3.00 | 0.7367 | 0.8125 | 0.5728 |
| 200 | 3.33 | 0.6057 | 0.6712 | 0.4957 |
| 220 | 3.67 | 0.5035 | 0.5546 | 0.3860 |
| 240 | 4.00 | 0.4271 | 0.4653 | 0.2889 |
| 260 | 4.33 | 0.3666 | 0.3969 | 0.2287 |
| 280 | 4.67 | 0.3215 | 0.3441 | 0.1705 |
| 300 | 5.00 | 0.2784 | 0.3000 | 0.1630 |
| 320 | 5.33 | 0.2392 | 0.2588 | 0.1482 |
| 340 | 5.67 | 0.2067 | 0.2230 | 0.1229 |
| 360 | 6.00 | 0.1796 | 0.1932 | 0.1025 |
| 390 | 6.50 | 0.1463 | 0.1630 | 0.0839 |
| 420 | 7.00 | 0.1210 | 0.1337 | 0.0638 |
| 450 | 7.50 | 0.1012 | 0.1111 | 0.0499 |
| 480 | 8.00 | 0.0860 | 0.0936 | 0.0383 |
| 510 | 8.50 | 0.0742 | 0.0801 | 0.0297 |

x : Humedad total

R : Velocidad de secado

\bar{x} : Humedad total promedio

S/A : 1.2603 Kg m.s./m²

CUADRO 1.5: DESHIDRATACION DE LA MUESTRA 5 (PELADO POR COCCION)

| TIEMPO | | x (Kg H2O/Kg m.s.) | \bar{x} (Kg H2O/Kg m.s.) | R (Kg H2O/hr.m2) |
|--------|-------|-----------------------|-------------------------------|---------------------|
| min | hr | | | |
| 0 | 0.00 | 3.9650 | - | - |
| 10 | 0.17 | 3.7083 | 3.8368 | 1.6972 |
| 20 | 0.33 | 3.4580 | 3.5832 | 1.6536 |
| 30 | 0.50 | 3.2048 | 2.3314 | 1.6728 |
| 40 | 0.67 | 2.9537 | 2.0793 | 1.6589 |
| 50 | 0.83 | 2.7235 | 2.8386 | 1.5208 |
| 60 | 1.00 | 2.5200 | 2.6218 | 1.3444 |
| 75 | 1.25 | 1.2400 | 2.3800 | 1.2332 |
| 90 | 1.50 | 1.0029 | 1.1215 | 1.0443 |
| 105 | 1.75 | 1.8024 | 1.9027 | 0.8831 |
| 120 | 2.00 | 1.6274 | 1.7149 | 0.7708 |
| 140 | 2.33 | 1.4205 | 1.5240 | 0.6835 |
| 160 | 2.67 | 0.2489 | 1.3347 | 0.5668 |
| 180 | 3.00 | 0.0948 | 1.1719 | 0.5090 |
| 200 | 3.33 | 0.9529 | 1.0239 | 0.4687 |
| 220 | 3.67 | 0.8370 | 0.8950 | 0.3829 |
| 240 | 4.00 | 0.7450 | 0.7910 | 0.3039 |
| 260 | 4.33 | 0.6693 | 0.7072 | 0.2501 |
| 280 | 4.67 | 0.6028 | 0.6361 | 0.2197 |
| 300 | 5.00 | 0.5489 | 0.5759 | 0.1780 |
| 320 | 5.33 | 0.4994 | 0.5242 | 0.1635 |
| 340 | 5.67 | 0.4535 | 0.4765 | 0.1516 |
| 360 | 6.00 | 0.4115 | 0.4325 | 0.1387 |
| 390 | 6.50 | 0.3525 | 0.3820 | 0.1299 |
| 420 | 7.00 | 0.3000 | 0.3263 | 0.1156 |
| 450 | 7.50 | 0.2580 | 0.2790 | 0.0925 |
| 480 | 8.00 | 0.2200 | 0.2390 | 0.0837 |
| 510 | 8.50 | 0.1870 | 0.2035 | 0.0727 |
| 540 | 9.00 | 0.1600 | 0.1735 | 0.0595 |
| 570 | 9.50 | 0.1375 | 0.1488 | 0.0495 |
| 600 | 10.00 | 0.1180 | 0.1278 | 0.0429 |
| 630 | 10.50 | 0.1015 | 0.1098 | 0.0363 |
| 660 | 11.00 | 0.0885 | 0.0950 | 0.0286 |
| 690 | 11.50 | 0.0780 | 0.0833 | 0.0231 |

x : Humedad total

R : Velocidad de secado

\bar{x} : Humedad total promedio

S/A : 1.1011 Kg m.s./m²

ANEXO 02: FORMATO DE EVALUACION SENSORIAL: PRUEBA DE ORDENAMIENTO

PRODUCTO : Harina de Papa Aérea (*Dioscorea bulbifera* L.)

NOMBRE :

FECHA :HORA:.....

INSTRUCCIONES:

A Ud. se le está presentando cinco (05) muestras diferentes de harina de papa aérea (*Dioscorea bulbifera* L.). Evalúe cuidadosamente el color de estas muestras y ordénelas de acuerdo a su agrado, siendo primero (1°) la muestra que tiene mejor color y quinto (5°) la de peor color.

| <u>CODIGO DE LAS MUESTRAS</u> | <u>ORDENAMIENTO</u> |
|-------------------------------|---------------------|
| 190 | |
| 685 | |
| 038 | |
| 913 | |
| 824 | |

COMENTARIOS:.....
.....
.....

MUCHAS GRACIAS

ANEXO 03: RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ORDENAMIENTO PARA HARINAS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.)

CUADRO 3.1: PRUEBA DE ORDENAMIENTO PARA HARINAS DESHIDRATADAS A 60°C

| JUEZ | COLOR | | | | | OLOR | | | | | TEXTURA (FINURA) | | | | |
|-----------|-------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 |
| 01 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 1 | 4 | 3 | 5 |
| 02 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 | 4 | 1 | 5 | 3 | 2 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| 03 | 4 | 1 | 3 | 2 | 5 | 4 | 5 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| 04 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 | 4 | 1 | 3 | 5 | 2 | 4 | 1 | 3 | 2 | 5 |
| 05 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 | 1 | 5 | 2 | 3 | 4 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| 06 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| 07 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 | 3 | 1 | 2 | 5 | 4 | 3 | 2 | 4 | 1 | 5 |
| 08 | 1 | 1 | 4 | 3 | 5 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | 4 | 1 | 3 | 2 | 5 |
| 09 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 | 4 | 1 | 5 | 2 | 3 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| 10 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 | 2 | 5 | 4 | 3 | 1 | 4 | 1 | 3 | 2 | 5 |
| TOTAL | 30 | 10 | 39 | 21 | 50 | 27 | 30 | 34 | 27 | 22 | 32 | 11 | 37 | 20 | 50 |
| \bar{X} | 3.0 | 1.0 | 3.9 | 2.1 | 5.0 | 2.7 | 3.0 | 3.4 | 2.7 | 2.2 | 3.2 | 1.1 | 3.7 | 2.0 | 5.0 |

CUADRO 3.2: PRUEBA DE ORDENAMIENTO PARA HARINAS DESHIDRATADAS A 65°C

| JUEZ | COLOR | | | | | OLOR | | | | | TEXTURA (FINURA) | | | | |
|-----------|-------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 |
| 01 | 2 | 1 | 4 | 3 | 5 | 1 | 3 | 4 | 5 | 2 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| 02 | 4 | 1 | 3 | 2 | 5 | 4 | 2 | 5 | 3 | 1 | 2 | 1 | 4 | 3 | 5 |
| 03 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 | 3 | 5 | 4 | 2 | 1 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| 04 | 2 | 1 | 4 | 3 | 5 | 1 | 4 | 5 | 3 | 2 | 2 | 1 | 4 | 3 | 5 |
| 05 | 4 | 1 | 3 | 2 | 5 | 4 | 2 | 1 | 5 | 3 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| 06 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| 07 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 | 5 | 1 | 2 | 4 | 3 | 4 | 1 | 3 | 2 | 5 |
| 08 | 4 | 1 | 3 | 2 | 5 | 1 | 4 | 5 | 2 | 3 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| 09 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 | 4 | 2 | 1 | 5 | 3 | 4 | 1 | 3 | 2 | 5 |
| 10 | 4 | 1 | 3 | 2 | 5 | 2 | 5 | 4 | 3 | 1 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| TOTAL | 32 | 10 | 36 | 22 | 50 | 27 | 31 | 35 | 37 | 20 | 30 | 10 | 38 | 22 | 50 |
| \bar{X} | 3.2 | 1.0 | 3.6 | 2.2 | 5.0 | 2.7 | 3.1 | 3.5 | 3.7 | 2.0 | 3.0 | 1.0 | 3.8 | 2.2 | 5.0 |

CUADRO 3.3: PRUEBA DE ORDENAMIENTO PARA HARINAS DESHIDRATADAS A 70°C

| | COLOR | | | | | OLOR | | | | | TEXTURA (FINURA) | | | | |
|-----------|-------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 |
| 01 | 2 | 1 | 4 | 3 | 5 | 2 | 4 | 1 | 5 | 3 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| 02 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 | 5 | 1 | 2 | 4 | 3 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| 03 | 3 | 2 | 4 | 1 | 5 | 1 | 5 | 4 | 2 | 3 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| 04 | 2 | 1 | 4 | 3 | 5 | 5 | 2 | 4 | 3 | 1 | 2 | 1 | 4 | 3 | 5 |
| 05 | 4 | 1 | 3 | 2 | 5 | 3 | 5 | 4 | 2 | 1 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| 06 | 4 | 2 | 3 | 1 | 5 | 4 | 1 | 5 | 3 | 2 | 4 | 1 | 3 | 2 | 5 |
| 07 | 2 | 1 | 4 | 3 | 5 | 2 | 4 | 1 | 5 | 3 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| 08 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 1 | 4 | 3 | 5 |
| 09 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 | 1 | 3 | 4 | 5 | 2 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| 10 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 | 3 | 4 | 5 | 2 | 1 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| TOTAL | 29 | 12 | 38 | 21 | 50 | 28 | 32 | 34 | 36 | 20 | 29 | 10 | 39 | 22 | 50 |
| \bar{X} | 2.9 | 1.2 | 3.8 | 2.1 | 5.0 | 2.8 | 3.2 | 3.4 | 3.6 | 2.0 | 2.9 | 1.0 | 3.9 | 2.2 | 5.0 |

ANEXO 04: DATOS DEL ANEXO 03 TRANSFORMADOS SEGUN LOS VALORES DE FISHER Y YATES

CUADRO 4.1: DATOS TRANSFORMADOS DEL CUADRO 3.1

| JUEZ | C O L O R | | | | | O L O R | | | | | T E X T U R A (F I N U R A) | | | | |
|-----------|-----------|--------|-------|--------|-------|---------|--------|--------|--------|--------|-------------------------------|--------|-------|--------|-------|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 |
| 01 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 | -0.500 | 0.000 | 0.500 | 1.160 | -1.160 | -0.500 | -1.160 | 0.500 | 0.000 | 1.160 |
| 02 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 | 0.500 | -1.160 | 0.000 | 1.160 | -0.500 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 |
| 03 | 0.500 | -1.160 | 0.000 | -0.500 | 1.160 | 0.500 | 1.160 | 0.000 | -0.500 | -1.160 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 |
| 04 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 | 0.500 | -1.160 | 0.000 | 1.160 | -0.500 | 0.500 | -1.160 | 0.000 | -0.500 | 1.160 |
| 05 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 | -1.160 | 1.160 | -0.500 | 0.000 | 0.500 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 |
| 06 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 | -0.500 | 0.000 | 0.500 | 1.160 | -1.160 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 |
| 07 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 | 0.000 | -1.160 | -0.500 | 1.160 | 0.500 | 0.000 | -0.500 | 0.500 | -1.160 | 1.160 |
| 08 | -0.500 | -1.160 | 0.500 | 0.500 | 1.160 | -1.160 | 1.160 | -0.500 | 0.500 | 0.000 | 0.500 | -1.160 | 0.000 | -0.500 | 1.160 |
| 09 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 | 0.500 | -1.160 | 1.160 | -0.500 | 0.000 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 |
| 10 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 | -0.500 | 1.160 | 0.500 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -1.160 | 0.000 | -0.500 | 1.160 |
| TOTAL | 0.000 | -11.60 | 4.500 | -4.500 | 11.60 | -1.820 | 0.000 | 1.160 | 5.300 | -4.640 | 1.000 | -10.94 | 3.500 | -5.160 | 11.60 |
| \bar{X} | 0.000 | -1.160 | 0.450 | -0.450 | 1.160 | -0.182 | 0.000 | 0.016 | 0.053 | -0.464 | 0.100 | -1.094 | 0.350 | -0.516 | 1.160 |

CUADRO 4.2: DATOS TRANSFORMADOS DEL CUADRO 3.2

| JUEZ | C O L O R | | | | | O L O R | | | | | T E X T U R A (F I N U R A) | | | | |
|-----------|-----------|--------|-------|--------|-------|---------|--------|--------|--------|--------|-------------------------------|--------|-------|--------|-------|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 |
| 01 | -0.500 | -1.160 | 0.500 | 0.000 | 1.160 | -1.160 | 0.000 | 0.500 | 1.160 | -0.500 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 |
| 02 | 0.500 | -1.160 | 0.000 | -0.500 | 1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 | 0.000 | -1.160 | -0.500 | -1.160 | 0.500 | 0.000 | 1.160 |
| 03 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 | 0.000 | 1.160 | 0.500 | -0.500 | -1.160 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 |
| 04 | -0.500 | -1.160 | 0.500 | 0.000 | 1.160 | -1.160 | 0.500 | 1.160 | 0.000 | -0.500 | -0.500 | -1.160 | 0.500 | 0.000 | 1.160 |
| 05 | 0.500 | -1.160 | 0.000 | -0.500 | 1.160 | 0.500 | -0.500 | -1.160 | 1.160 | 0.000 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 |
| 06 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 | -0.500 | 0.000 | 0.500 | 1.160 | -1.160 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 |
| 07 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 | 1.160 | -1.160 | -0.500 | 0.500 | 0.000 | 0.500 | -1.160 | 0.000 | -0.500 | 1.160 |
| 08 | 0.500 | -1.160 | 0.000 | -0.500 | 1.160 | -1.160 | 0.500 | 1.160 | -0.500 | 0.000 | 0.500 | -1.160 | 0.000 | -0.500 | 1.160 |
| 09 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 | 0.500 | -0.500 | -1.160 | 1.160 | 0.000 | 0.500 | -1.160 | 0.000 | -0.500 | 1.160 |
| 10 | 0.500 | -1.160 | 0.000 | -0.500 | 1.160 | -0.500 | 1.160 | 0.500 | 0.000 | -1.160 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 |
| TOTAL | 1.000 | -11.60 | 3.000 | -4.000 | 11.60 | -1.820 | 0.660 | 2.660 | 4.140 | -5.640 | 0.000 | -11.60 | 4.000 | -4.000 | 11.60 |
| \bar{X} | 0.100 | -1.160 | 0.300 | -0.400 | 1.160 | -0.182 | 0.066 | 0.266 | 0.414 | -0.564 | 0.000 | -1.160 | 0.400 | -0.400 | 1.160 |

CUADRO 4.3: DATOS TRANSFORMADOS DEL CUADRO 3.3

| JUEZ | C O L O R | | | | | O L O R | | | | | T E X T U R A (F I N U R A) | | | | |
|-----------|-----------|--------|-------|--------|-------|---------|--------|--------|--------|--------|-------------------------------|--------|-------|--------|-------|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 |
| 01 | -0.500 | -1.160 | 0.500 | 0.000 | 1.160 | -0.500 | 0.500 | -1.160 | 1.160 | 0.000 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 |
| 02 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 | 1.160 | -1.160 | -0.500 | 0.500 | 0.000 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 |
| 03 | 0.000 | -0.500 | 0.500 | -1.160 | 1.160 | -1.160 | 1.160 | 0.500 | -0.500 | 0.000 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 |
| 04 | -0.500 | -1.160 | 0.500 | 0.000 | 1.160 | 1.160 | -0.500 | 0.500 | 0.000 | -1.160 | -0.500 | -1.160 | 0.000 | 0.000 | 1.160 |
| 05 | 0.500 | -1.160 | 0.000 | -0.500 | 1.160 | 0.000 | 1.160 | 0.500 | -0.500 | -1.160 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 |
| 06 | 0.500 | -0.500 | 0.000 | -1.160 | 1.160 | 0.500 | -1.160 | 1.160 | 0.000 | -0.500 | 0.500 | -1.160 | 0.000 | -0.500 | 1.160 |
| 07 | -0.500 | -1.160 | 0.500 | 0.000 | 1.160 | -0.500 | 0.500 | -1.160 | 1.160 | 0.000 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 |
| 08 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 | -0.500 | 0.000 | 0.500 | 1.160 | -1.160 | -0.500 | -1.160 | 0.000 | 0.000 | 1.160 |
| 09 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 | -1.160 | 0.000 | 0.500 | 1.160 | -0.500 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 |
| 10 | 0.000 | -1.160 | 0.500 | -0.500 | 1.160 | 0.000 | 0.500 | 1.160 | -0.500 | -1.160 | 0.000 | -1.160 | 0.000 | -0.500 | 1.160 |
| TOTAL | -0.500 | -10.28 | 4.000 | -4.820 | 11.60 | -1.000 | 1.000 | 2.000 | 3.640 | -5.640 | -0.500 | -11.60 | 4.500 | -4.000 | 11.60 |
| \bar{X} | -0.500 | -1.028 | 0.400 | -0.482 | 1.160 | -0.100 | 0.100 | 0.200 | 0.364 | -0.564 | -0.050 | -1.160 | 0.450 | -0.400 | 1.160 |

ANEXO 05: CALCULOS PARA EL ANALISIS DE VARIANZA (ANVA) DE LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ORDENAMIENTO PARA HARINAS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.) DESHIDRATADAS A 60°C.

a) ATRIBUTO COLOR

Suma de Cuadrados de los Tratamientos (SCtts)

$$\begin{aligned} \text{SCtts} &= \frac{(-11.60)^2 + (4.50)^2 + (-4.50)^2 + (11.60)^2}{10} - \frac{(0.00)^2}{50} \\ &= 30.9620 \end{aligned}$$

Suma de Cuadrados de los Jueces (SCjueces)

$$\text{SCjueces} = 0$$

Suma de Cuadrados del Total (SCtotal)

$$\begin{aligned} \text{SCtotal} &= 10(-0.5)^2 + 10(0.5)^2 + 10(-1.16)^2 + 10(1.16)^2 - \\ &\quad \frac{(0.00)^2}{50} \\ &= 31.9120 \end{aligned}$$

Suma de Cuadrados del Error Experimental (SCerror exp)

$$\begin{aligned} \text{SCerror exp} &= \text{SCtotal} - \text{SCtts} - \text{SCjueces} \\ &= 31.9120 - 30.9620 - 0 \\ &= 0.9500 \end{aligned}$$

b) ATRIBUTO OLOR

Suma de Cuadrados de los Tratamientos (SCtts)

$$\begin{aligned} \text{SCtts} &= \frac{(-1.82)^2 + (1.16)^2 + (5.30)^2 + (-4.64)^2}{10} - \frac{(0.00)^2}{50} \\ &= 5.4278 \end{aligned}$$

Suma de Cuadrados de los Jueces (SCjueces)

$$\text{SCpanltas} = 0$$

Suma de Cuadrados del Total (SCtotal)

$$SC_{total} = 31.9120$$

Suma de Cuadrados del Error Experimental (SCerror exp)

$$\begin{aligned} SC_{error \text{ exp}} &= 31.9120 - 5.4278 - 0 \\ &= 26.4842 \end{aligned}$$

c) ATRIBUTO TEXTURA

Suma de Cuadrados de los Tratamientos (SCtts)

$$\begin{aligned} SC_{tts} &= \frac{(1)^2 + (-10.94)^2 + (3.5)^2 + (-5.16)^2 + (11.6)^2}{10} - \frac{(0.00)^2}{50} \\ &= 29.4119 \end{aligned}$$

Suma de Cuadrados de los Jueces (SCjueces)

$$SC_{jueces} = 0$$

Suma de Cuadrados del Total (SCtotal)

$$SC_{total} = 31.9120$$

Suma de Cuadrados del Error Experimental (SCerror exp)

$$\begin{aligned} SC_{error \text{ exp}} &= 31.9120 - 29.4192 - 0 \\ &= 2.5001 \end{aligned}$$

ANEXO 06: ANALISIS DE VARIANZA (ANVA) DE LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ORDENAMIENTO PARA HARINAS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.)

CUADRO 6.1: ANALISIS DE VARIANZA (ANVA) PARA HARINAS DESHIDRATADAS A 60°C

| FTE. | C O L O R | | | | | | O L O R | | | | | | TEXTURA (FIMURA) | | | | | |
|-------|-----------|--------|-------|---------|-------|---|---------|--------|-------|-------|-------|----|------------------|--------|-------|---------|-------|---|
| | GL | SC | CM | Fc | Ft | S | GL | SC | CM | Fc | Ft | S | GL | SC | CM | Fc | Ft | S |
| Tttos | 4 | 30.562 | 7.741 | 297.731 | 2.642 | * | 4 | 5.428 | 1.357 | 1.844 | 2.642 | ns | 4 | 29.412 | 7.353 | 106.565 | 2.642 | * |
| Juece | 9 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2.156 | | 9 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2.156 | | 9 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2.156 | |
| E.Exp | 36 | 0.950 | 0.026 | | | | 36 | 26.484 | 0.736 | | | | 36 | 2.500 | 0.069 | | | |
| Total | 49 | 31.912 | | | | | 49 | 31.912 | | | | | 49 | 31.912 | | | | |

CUADRO 6.2: ANALISIS DE VARIANZA (ANVA) PARA HARINAS DESHIDRATADAS A 65°C

| FTE. | C O L O R | | | | | | O L O R | | | | | | TEXTURA (FIMURA) | | | | | |
|-------|-----------|--------|-------|---------|-------|---|---------|--------|-------|-------|-------|----|------------------|--------|-------|---------|-------|---|
| | GL | SC | CM | Fc | Ft | S | GL | SC | CM | Fc | Ft | S | GL | SC | CM | Fc | Ft | S |
| Tttos | 4 | 29.512 | 7.378 | 110.119 | 2.642 | * | 4 | 5.977 | 1.494 | 2.075 | 2.642 | ns | 4 | 30.112 | 7.528 | 150.560 | 2.642 | * |
| Juece | 9 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2.156 | | 9 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2.156 | | 9 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2.156 | |
| E.Exp | 36 | 2.400 | 0.067 | | | | 36 | 25.935 | 0.720 | | | | 36 | 1.800 | 0.050 | | | |
| Total | 49 | 31.912 | | | | | 49 | 31.912 | | | | | 49 | 31.912 | | | | |

CUADRO 6.3: ANALISIS DE VARIANZA (ANVA) PARA HARINAS DESHIDRATADAS A 70°C

| FTE. | C O L O R | | | | | | O L O R | | | | | | TEXTURA (FIMURA) | | | | | |
|-------|-----------|--------|-------|--------|-------|---|---------|--------|-------|-------|-------|----|------------------|--------|-------|---------|-------|---|
| | GL | SC | CM | Fc | Ft | S | GL | SC | CM | Fc | Ft | S | GL | SC | CM | Fc | Ft | S |
| Tttos | 4 | 27.972 | 6.993 | 64.156 | 2.642 | * | 4 | 5.106 | 1.277 | 1.714 | 2.642 | ns | 4 | 30.562 | 7.641 | 201.079 | 2.642 | * |
| Juece | 9 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2.156 | | 9 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2.156 | | 9 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2.156 | |
| E.Exp | 36 | 3.940 | 0.109 | | | | 36 | 26.806 | 0.745 | | | | 36 | 1.350 | 0.038 | | | |
| Total | 49 | 31.912 | | | | | 49 | 31.912 | | | | | 49 | 31.912 | | | | |

Ft (4,36; 5%) = 2.642

Ft (9,36; 5%) = 2.156

* : Significativo
ns : No Significativo

ANEXO 07: PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ORDENAMIENTO PARA HARINAS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.)

CUADRO 7.1: PRUEBA DE TUKEY PARA HARINAS DESHIDRATADAS A 60°C

| COMPARACION | C O L O R | | | TEXTURA (FINURA) | | | | | | |
|------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------|---------------------|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | DIFER. ENTRE MEDIAS | DIFERENCIA MINIMA SIGNIFICATIVA (DMS) | SIG. | DIFER. ENTRE MEDIAS | DIFERENCIA MINIMA SIGNIFICATIVA (DMS) | SIG. | | | | |
| M5-M2 | 2.32 | 0.21 | * | 2.25 | 0.34 | * | | | | |
| M5-M4 | 1.61 | 0.21 | * | 1.68 | 0.34 | * | | | | |
| M5-M1 | 1.16 | 0.21 | * | 1.06 | 0.34 | * | | | | |
| M5-M3 | 0.71 | 0.21 | * | 0.81 | 0.34 | * | | | | |
| M3-M2 | 1.61 | 0.21 | * | 1.44 | 0.34 | * | | | | |
| M3-M4 | 0.90 | 0.21 | * | 0.87 | 0.34 | * | | | | |
| M3-M1 | 0.45 | 0.21 | * | 0.25 | 0.34 | ns | | | | |
| M1-M2 | 1.16 | 0.21 | * | 1.19 | 0.34 | * | | | | |
| M1-M4 | 0.45 | 0.21 | * | 0.62 | 0.34 | * | | | | |
| M4-M2 | 0.71 | 0.21 | * | 0.58 | 0.34 | * | | | | |
| NOTAC. CONVEN. SIGNIFICANCIA | M5 a | M3 e | M1 d | M4 c | M2 b | M5 a | M3 d | M1 d | M4 c | M2 b |

CUADRO 7.2: PRUEBA DE TUKEY PARA HARINAS DESHIDRATADAS A 65°C

| COMPARACION | C O L O R | | | TEXTURA (FINURA) | | | | | | |
|------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------|---------------------|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | DIFER. ENTRE MEDIAS | DIFERENCIA MINIMA SIGNIFICATIVA (DMS) | SIG. | DIFER. ENTRE MEDIAS | DIFERENCIA MINIMA SIGNIFICATIVA (DMS) | SIG. | | | | |
| M5-M2 | 2.32 | 0.33 | * | 2.32 | 0.29 | * | | | | |
| M5-M4 | 1.56 | 0.33 | * | 1.56 | 0.29 | * | | | | |
| M5-M1 | 1.06 | 0.33 | * | 1.16 | 0.29 | * | | | | |
| M5-M3 | 0.86 | 0.33 | * | 0.76 | 0.29 | * | | | | |
| M3-M2 | 1.46 | 0.33 | * | 1.56 | 0.29 | * | | | | |
| M3-M4 | 0.70 | 0.33 | ns | 0.80 | 0.29 | * | | | | |
| M3-M1 | 0.20 | 0.33 | * | 0.40 | 0.29 | * | | | | |
| M1-M2 | 1.26 | 0.33 | * | 1.16 | 0.29 | * | | | | |
| M1-M4 | 0.50 | 0.33 | * | 0.40 | 0.29 | * | | | | |
| M4-M2 | 0.76 | 0.33 | * | 0.76 | 0.29 | * | | | | |
| NOTAC. CONVEN. SIGNIFICANCIA | M5 a | M3 d | M1 d | M4 c | M2 b | M5 a | M3 e | M1 d | M4 c | M2 b |

CUADRO 7.3: PRUEBA DE TUKEY PARA HARINAS DESHIDRATADAS A 70°C

| COMPARACION | C O L O R | | | TEXTURA (FINURA) | | | | | | |
|------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------|---------------------|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | DIFER. ENTRE MEDIAS | DIFERENCIA MINIMA SIGNIFICATIVA (DMS) | SIG. | DIFER. ENTRE MEDIAS | DIFERENCIA MINIMA SIGNIFICATIVA (DMS) | SIG. | | | | |
| M5-M2 | 2.19 | 0.43 | * | 2.32 | 0.25 | * | | | | |
| M5-M4 | 1.64 | 0.43 | * | 1.56 | 0.25 | * | | | | |
| M5-M1 | 1.21 | 0.43 | * | 1.21 | 0.25 | * | | | | |
| M5-M3 | 0.75 | 0.43 | * | 0.71 | 0.25 | * | | | | |
| M3-M2 | 1.43 | 0.43 | * | 1.61 | 0.25 | * | | | | |
| M3-M4 | 0.88 | 0.43 | * | 0.85 | 0.25 | * | | | | |
| M3-M1 | 0.45 | 0.43 | * | 0.50 | 0.25 | * | | | | |
| M1-M2 | 0.98 | 0.43 | * | 1.11 | 0.25 | * | | | | |
| M1-M4 | 0.43 | 0.43 | * | 0.35 | 0.25 | * | | | | |
| M4-M2 | 0.55 | 0.43 | * | 0.76 | 0.25 | * | | | | |
| NOTAC. CONVEN. SIGNIFICANCIA | M5 a | M3 e | M1 d | M4 c | M2 b | M5 a | M3 e | M1 d | M4 c | M2 b |

* : Significativo
 ns : No Significativo

ANEXO 08: FORMATO DE EVALUACION SENSORIAL: PRUEBA DE PREFERENCIA

PRODUCTO : Harina de Papa Aérea (*Dioscorea bulbifera L.*)

NOMBRE :
FECHA : HORA:.....

INSTRUCCIONES:

A Ud. se le está presentando tres (03) muestras diferentes de harina de papa aérea (*Dioscorea bulbifera L.*). Indique el orden de su preferencia según la escal siguiente:

- 1 : El de mayor preferencia
- 2 : La segunda preferencia
- 3 : La tercera preferencia

| <u>CODIGO DE LAS MUESTRAS</u> | <u>ORDENAMIENTO</u> |
|-------------------------------|---------------------|
| 190 | |
| 685 | |
| 038 | |
| 913 | |
| 824 | |

COMENTARIOS:.....
.....
.....

MUCHAS GRACIAS

ANEXO 09: RESULTADO DE LA PRUEBA DE PREFERENCIA PARA HARINAS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.)

| JUEZ | TRATAMIENTO (T° DE DESHIDRATACION) | | |
|----------|------------------------------------|----------------|----------------|
| | T ₁ | T ₂ | T ₃ |
| 01 | 2 | 1 | 3 |
| 02 | 3 | 1 | 2 |
| 03 | 3 | 1 | 2 |
| 04 | 3 | 1 | 2 |
| 05 | 3 | 2 | 1 |
| 06 | 3 | 1 | 2 |
| 07 | 3 | 1 | 2 |
| 08 | 3 | 1 | 2 |
| 09 | 3 | 2 | 1 |
| 10 | 3 | 1 | 2 |
| TOTAL | 29 | 12 | 19 |
| PROMEDIO | 2.9 | 1.2 | 1.9 |

ANEXO 10: ANALISIS DE VARIANZA (ANVA) DE LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA DE PREFERENCIA PARA HARINAS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.)

| FTE. DE VARIAC. | GRADOS DE LIBERTAD | SUMA DE CUADRADOS | CUADRADO MEDIO | F CALCULADO | F TABULADO | SIGN. |
|-----------------|--------------------|-------------------|----------------|-------------|------------|-------|
| Ttos. | 2 | 14.600 | 7.300 | 24.333 | 3.566 | * |
| Jueces | 9 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2.470 | ns |
| E. Exp. | 18 | 5.400 | 0.300 | | | |
| Total | 29 | 20.000 | | | | |

$$F_t (2,18; 5\%) = 3.566$$

$$f_t (9,18; 5\%) = 2.470$$

* : Significativo

ns : No significativo

ANEXO 11: PRUEBA DE TUKEY AL 5% PARA LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA DE PREFERENCIA PARA HARINAS DE PAPA AEREA (*Dioscorea bulbifera* L.)

| COMPARACION. | DIFERENCIA ENTRE MEDIAS | DIFERENCIA MINIMA SIGNIFICATIVA (DMS) | SIG. |
|------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---------|
| T1 - T2 | 2.9 - 1.2 = 1.70 | 0.62 | * |
| T1 - T3 | 2.9 - 1.9 = 1.00 | 0.62 | * |
| T3 - T2 | 1.9 - 1.2 = 0.70 | 0.62 | * |
| NOTAC. CONVEN. SIGNIFICANCIA | T1 a | T3 c | T2 b |

* : Significativo

