

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS  
POSTGRADO INTERFACULTADES EN  
CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



*TESIS DOCTORAL:*  
*FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PRODUCTOS*  
*ALIMENTICIOS DIRIGIDOS AL ADULTO MAYOR,*  
*A BASE DE ALMIDONES MODIFICADOS*  
*Y HARINA DE ÑAME (*Dioscorea alata*)*

**Tutora:**

Dra. Emperatriz Pacheco

**Presentado por:**

Ing. M.Sc. Nora Techeira

Caracas, Diciembre de 2008.

## *DEDICATORIA*

*A mi tutora, Prof. Emperatriz Pacheco de  
Delahaye,  
quien fue la luz que guió mi camino,  
enseñándome la importancia de la perseverancia,  
la responsabilidad y la amistad....*

## *AGRADECIMIENTOS*

*A Dios Padre Todopoderoso, por estar siempre a mi lado e iluminar mi camino en los momentos más difíciles.*

*A mi esposo Darío, por su apoyo incondicional, sus palabras de aliento y su inmensa comprensión.*

*A mi hija Daniela; por cada sonrisa, beso y abrazo, que inspiran una gran energía y unas inmensas ganas de vivir.*

*A mis padres, por todo su amor y comprensión; y por haberme formado con los valores que me hicieron seguir adelante.*

*A mi tutora Prof. Emperatriz Pacheco, por su inmensa ayuda tanto a nivel profesional como personal, por toda la confianza que depositó en mí y por brindarme su amistad, en los buenos y malos momentos.*

*A la Prof. Elevina Pérez, quien incondicionalmente me brindó su apoyo justo cuando más lo necesitaba, a ud. profe: ¡Muchas Gracias!*

*A mi familia, por su apoyo incondicional y su gran amor y cariño.*

*A la Universidad Central de Venezuela, por ser desde hace muchos años, la fuente de inspiración para mi desarrollo profesional, permitiéndome alcanzar*

*grandes logros a nivel académico y laboral.*

*Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la UCV por el financiamiento parcial de este trabajo de investigación a través del Proyecto N° 01005819-2005, a cargo de la Prof. Emperatriz Pacheco.*

*A la Profesora Mariela Rincón por su inmensa colaboración, al ayudarme en la realización de las curvas amilográficas, y por permitirme utilizar las instalaciones del Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Farmacia, de la Universidad Central de Venezuela.*

*Al Ing. Agr. Carlos Vega, por su inmensa colaboración.*

*A las Profesoras: Brunilda Perdomo, Francisca Sosa, Auris D. García, Gladiana Praderes, Audrey Suárez, Alejandra Ramírez, Clemencia Borges, Lucía G. De Fariñas, Yasmín Román; por creer en mi capacidad y por darme su apoyo profesional y personal en mi desempeño como Becario Académico.*

*A mi querida amiga, Gloria Betancourt de Pinto, por su gran ayuda durante mi estadía en el Laboratorio de Bioquímica de Alimentos, y por siempre estar pendiente de mi desarrollo profesional y personal.*

*Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH) por el financiamiento de mi estudios de Doctorado.*

*Y a todas aquellas personas que me apoyaron y que con sus palabras de aliento me incentivaron a seguir adelante.*

# INDICE GENERAL

<b>PORTADA</b> .....	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>III</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>V</b>
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>X</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>XII</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>XV</b>
<b>I.-REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
1. RAÍCES Y TUBÉRCULOS: IMPORTANCIA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS .....	17
2. EL ÑAME ( <i>Dioscorea spp.</i> ) .....	20
2.1.- Origen .....	20
2.2.- Descripción Botánica .....	21
2.3.- Producción .....	22
2.4.- Composición química .....	25
2.5.- Capacidad antioxidante .....	29
3. ALMIDÓN DE ÑAME Y DE OTRAS RAÍCES Y TUBÉRCULOS TROPICALES .....	36
3.1.- Definición y estructura química. ....	36
3.2.- Propiedades físicas y físico químicas. ....	45
3.2.1.- <i>Morfología y tamaño del gránulo.</i> .....	45
3.2.2.- <i>Patrón de difracción.</i> .....	47
3.2.3.- <i>Propiedades funcionales de los almidones.</i> .....	48
3.2.3.1.- <i>Poder de hinchamiento y solubilidad en agua.</i> .....	50
3.2.3.2.- <i>Gelatinización.</i> .....	55
4.- ALMIDONES MODIFICADOS .....	62
4.1.- Importancia y uso de los almidones nativos vs. almidones modificados .....	62
4.2.- Modificación Física .....	64
4.3.- Modificación Química .....	68
4.3.1.- <i>Modificación química por conversión o degradación.</i> .....	69
4.3.1.1.- <i>Hidrólisis ácida.</i> .....	71
4.3.1.2.- <i>Oxidación.</i> .....	76
4.3.2.- <i>Modificación química por derivación o sustitución.</i> .....	78
4.3.2.1.- <i>Almidones entrecruzados.</i> .....	78
4.3.2.2.- <i>Almidones estabilizados o eterificados.</i> .....	81
4.3.2.3.- <i>Almidones esterificados.</i> .....	83
4.3.3.- <i>Almidones Granulares Solubles en Agua Fría (AGSAF).</i> .....	85
5.- HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA Y DIGESTIBILIDAD DEL ALMIDÓN .....	87
6.- ALIMENTOS FUNCIONALES .....	96
6.1.- Definición e Importancia .....	96
6.2.- Tipos de alimentos funcionales. ....	96
6.3.- Alimentos funcionales desarrollados para el adulto mayor. ....	97
6.3.1.- <i>Importancia del consumo de alimentos enriquecidos con calcio en personas de la tercera edad</i> .....	101
6.3.2.- <i>Importancia del consumo de alimentos enriquecidos con hierro en personas de la tercera edad</i> .....	105
6.3.3.- <i>Importancia del consumo de alimentos enriquecidos con ácido fólico en personas de la tercera edad.</i> .....	109
<b>II.- MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>112</b>
1.- MATERIA PRIMA .....	112
2.- ELABORACIÓN DE LA HARINA DE ÑAME .....	113
3.- EXTRACCIÓN, PURIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ALMIDONES NATIVOS Y MODIFICADOS DE ÑAME .....	115
3.1.- Extracción y purificación de almidones nativos y modificados de ñame. ....	115

3.1.1.- <i>Obtención de almidón nativo</i> .....	115
3.1.2.- <i>Obtención de almidones pregelatinizados</i> .....	117
3.1.3.- <i>Obtención de almidones tratados con NaOH</i> .....	117
3.1.4.- <i>Obtención de almidones granulares</i> .....	119
3.2.- <i>Caracterización física y composición química de la harina y de los almidones de ñame</i> .....	121
3.2.1.- <i>Características físicas de la harina y almidones de ñame</i> .....	121
3.2.2.- <i>Composición química de la harina y almidones de ñame</i> .....	121
3.3.- <i>Hidrólisis enzimática de la harina y de los almidones de ñame</i> .....	122
3.4.- <i>Propiedades funcionales de las harinas y de los almidones de ñame</i> .....	122
3.4.1.- <i>Poder de hinchamiento, absorción de agua y solubilidad en agua</i> .....	123
3.4.2.- <i>Solubilidad en agua fría</i> .....	123
3.4.3.- <i>Estabilidad y claridad de las pastas</i> .....	123
3.4.4.- <i>Estabilidad al congelamiento deshielo</i> .....	124
3.4.5.- <i>Viscosidad aparente</i> .....	124
3.4.6.- <i>Curvas amilográficas</i> .....	125
3.5.- <i>Análisis estadístico</i> .....	125
4.- <i>DESARROLLO DE PRODUCTOS ENRIQUECIDOS CON CALCIO, HIERRO Y ÁCIDO FÓLICO, ELABORADOS A PARTIR DE LA HARINA Y DEL ALMIDÓN GRANULAR DE ÑAME, DESTINADOS AL ADULTO MAYOR</i> .....	126
4.1.- <i>Desarrollo de un néctar enriquecido con calcio y ácido fólico, elaborado a partir de pulpa de durazno (<i>Prunus persica</i>) y harina de ñame</i> .....	126
4.1.1.- <i>Materia prima</i> .....	126
4.1.2.- <i>Caracterización de la pulpa de durazno</i> .....	127
4.1.2.1.- <i>Sólidos solubles totales</i> .....	127
4.1.2.2.- <i>pH</i> .....	127
4.1.2.3.- <i>Acidez titulable</i> .....	128
4.1.2.4.- <i>Relación sólidos solubles / acidez</i> .....	129
4.1.3.- <i>Formulación del néctar de durazno, enriquecido con calcio y ácido fólico, a base de harina de ñame</i> .....	129
4.1.3.1.- <i>Regulación del contenido de sólidos solubles, agua y grado de acidez</i> .....	130
4.1.3.2.- <i>Incorporación de la harina de ñame como agente espesante</i> .....	133
4.1.3.3.- <i>Incorporación de los agentes fortificantes (carbonato de calcio y ácido fólico) al néctar de durazno</i> .....	133
4.1.4.- <i>Elaboración del néctar de durazno enriquecido con calcio y ácido fólico, a base de harina de ñame</i> .....	136
4.1.5.- <i>Estudio de la estabilidad del néctar de durazno con harina de ñame, enriquecido con calcio y ácido fólico</i> .....	138
4.1.5.1.- <i>Estabilidad física y química</i> .....	138
4.1.5.1.- <i>Estabilidad microbiológica</i> .....	139
4.1.6.- <i>Evaluación sensorial</i> .....	140
4.1.7.- <i>Análisis estadístico</i> .....	141
4.2.- <i>Desarrollo de un polvo para pudín de chocolate enriquecido con hierro y ácido fólico, a base de almidón nativo y granular de ñame</i> .....	142
4.2.1.- <i>Formulación del polvo para pudín de chocolate enriquecido con hierro y ácido fólico, a base de almidón nativo y granular de ñame</i> .....	142
4.2.2.- <i>Elaboración del polvo para pudín de chocolate enriquecido con hierro y ácido fólico, a base de almidón nativo y granular de ñame</i> .....	146
4.2.3.- <i>Evaluación de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo y granular</i> .....	149
4.2.3.1.- <i>Composición química de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico</i> .....	149
4.2.3.2.- <i>Evaluación microbiológica de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico</i> .....	150
4.2.3.3.- <i>Estudio de la estabilidad de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico</i> .....	150
4.2.3.4.- <i>Estudio de la estabilidad los pudines de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, reconstituidos en leche</i> .....	151

4.2.3.5.- <i>Evaluación sensorial de los pudines de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, reconstituidos en leche.</i> .....	152
4.2.3.6.- <i>Análisis estadístico.</i> .....	153
<b>III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>155</b>
1.- CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA HARINA DE ÑAME .....	155
1.1.-Caracterización física de la harina de ñame. ....	155
1.2.-Composición química de la harina de ñame. ....	158
2.- CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ALMIDONES NATIVO Y MODIFICADOS DE ÑAME .....	164
2.1.-Caracterización física del almidón nativo y de los almidones modificados de ñame. ....	164
2.2.-Composición química del almidón de ñame nativo y de los almidones modificados. ....	170
3.- PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HARINA, DEL ALMIDÓN NATIVO Y DE LOS ALMIDONES DE ÑAME MODIFICADOS .....	179
3.1.-Absorción de agua, colubilidad y poder de hinchamiento .....	179
3.2.-Solubilidad en agua fría.....	189
3.3.-Estabilidad y claridad de las pastas .....	192
3.4.-Estabilidad al congelamiento y deshielo de las pastas.....	200
3.5.-Perfil amilográfico.....	204
3.5.1.- <i>Temperatura de gelatinización.</i> .....	211
3.5.2.- <i>Viscosidad máxima.</i> .....	214
3.5.3.- <i>“Breakdown” o estabilidad.</i> .....	218
3.5.4.- <i>“Setback” o retrogradación.</i> .....	220
4.- DIGESTIBILIDAD DE LOS ALMIDONES NATIVO Y MODIFICADOS DE ÑAME .....	224
5.- DESARROLLO DE PRODUCTOS ENRIQUECIDOS, ELABORADOS A PARTIR DE LA HARINA Y DEL ALMIDÓN GRANULAR DE ÑAME, DESTINADOS AL SECTOR DEL ADULTO MAYOR .....	233
5.1.-Formulación, elaboración y caracterización de néctares enriquecidos con calcio y ácido fólico, elaborados a partir de pulpa de durazno y harina de ñame .....	233
5.1.1.- <i>Estabilidad física y química de los néctares de durazno enriquecidos con calcio y ácido fólico, elaborados con harina de ñame.</i> .....	235
5.1.2.- <i>Análisis microbiológicos.</i> .....	250
5.1.3.- <i>Evaluación Sensorial.</i> .....	252
5.2.-Formulación, elaboración y caracterización de polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, obtenidos a partir de almidón de ñame nativo y granular.....	257
5.2.1.- <i>Formulación y elaboración de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos, obtenidos a partir de almidón de ñame nativo y granular.</i> .....	258
5.2.2.- <i>Composición química de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, con almidón de ñame nativo y granular.</i> .....	263
5.2.3.- <i>Evaluación microbiológica de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, con almidón de ñame nativo y granular.</i> .....	269
5.2.4.- <i>Estudio de la estabilidad de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos y de los pudines de chocolate enriquecidos reconstituidos.</i> .....	271
5.2.4.1.- <i>Estabilidad de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico.</i> .....	271
5.2.4.2.- <i>Estabilidad de los pudines de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, reconstituidos en leche</i> .....	278
5.2.5.- <i>Evaluación sensorial de los pudines de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico reconstituidos.</i> .....	284
<b>IV.- CONCLUSIONES</b> .....	<b>288</b>
<b>V.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>290</b>

## INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. Composición química en base seca de tubérculos de ñame .....	26
CUADRO 2. Contenido de ácidos orgánicos y d epolifenoles en diferentes especies de ñame.....	28
CUADRO 3. Efecto del consumo de noodles elaborados a partir de harina de ñame sobre los niveles de lípidos sanguíneos de ratones hembra durante un período de 5 semanas .....	35
CUADRO 4. Composición química de almidones de papa, batata, yuca y ñame .....	43
CUADRO 5. Composición química, rendimiento y pureza de almidones aislados de tubérculos de <i>Colocasia esculenta</i> y <i>Xanthosoma sagittifolium</i> .....	43
CUADRO 6. Propiedades de gelatinización de suspensiones de almidón de papa, batata, yuca y diferentes variedades de ñame .....	61
CUADRO 7. Tipos de alimentos funcionales, características y ejemplos .....	98
CUADRO 8. Valores de referencia de energía y nutrientes para la población venezolana, perteneciente al sector del adulto mayor .....	100
CUADRO 9. Concentraciones de ferritina sérica y hemoglobina obtenidas para un grupo de mujeres postmenopáusicas suplementadas con pan de centeno fortificado con hierro y sin fortificar .....	108
CUADRO 10. Formulaciones establecidas para el néctar de durazno, elaborado a partir de la pulpa .....	131
CUADRO 11. Formulaciones de néctar de durazno enriquecido con calcio y ácido fólico, con harina de ñame .....	135
CUADRO 12. Formulaciones de polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico .....	145
CUADRO 13. Tabla de valoración por escala de Karlshure .....	147
CUADRO 14. Caracterización física de la harina de ñame .....	156
CUADRO 15. Composición química en base seca de la harina de ñame .....	159
CUADRO 16. Características físicas de los almidones de ñame nativo y modificados .....	166
CUADRO 17. Viscosidad aparente para el almidón nativo y los almidones modificados de ñame .....	168
CUADRO 18. Composición química en base seca del almidón nativo y de los almidones modificados de ñame .....	172
CUADRO 19. Solubilidad en agua fría de la harina, del almidón nativo y de los almidones modificados de ñame .....	190
CUADRO 20. Estabilidad y claridad a temperatura ambiente y a 4°C de las pastas de almidón nativo y de los almidones modificados de ñame .....	197
CUADRO 21. Perfiles de gelatinización de la harina, almidón nativo y almidones modificados de ñame .....	205
CUADRO 22. Formulaciones de néctar de durazno enriquecido con calcio y ácido fólico, elaborados a partir de harina de ñame, seleccionadas en función a ciertos atributos sensoriales .....	235
CUADRO 23. Resultados obtenidos en la evaluación de color realizada a las tres formulaciones de néctar de durazno enriquecido con calcio y ácido fólico, elaborados a partir de harina de ñame, y del néctar de durazno comercial, al primer día de almacenamiento .....	237
CUADRO 24. Resultados obtenidos para los valores de $\Delta E$ , calculados entre las muestras de néctares evaluadas .....	237
CUADRO 25. Comportamiento a través del tiempo del color de los néctares elaborados a base de pulpa de durazno y harina de ñame, enriquecidos con calcio y ácido fólico .....	239
CUADRO 26. Comportamiento a través del tiempo del contenido de sólidos solubles, determinado para los néctares elaborados a base de pulpa de durazno y harina de ñame, enriquecidos con calcio y ácido fólico .....	241
CUADRO 27. Comportamiento a través del tiempo del pH y de la acidez titulable, determinados para los néctares elaborados a base de pulpa de durazno y harina de ñame, enriquecidos con calcio y ácido fólico .....	243
CUADRO 28. Comportamiento a través del tiempo de la viscosidad aparente determinada para los néctares elaborados a base de pulpa de durazno y harina de ñame, enriquecidos con calcio y ácido fólico .....	246
CUADRO 29. Estudio cualitativo de la separación de fases en los néctares de durazno enriquecidos con calcio y ácido fólico, elaborados con harina de ñame.....	249
CUADRO 30. Evaluación microbiológica de las diferentes formulaciones de néctares de durazno enriquecidos, elaborados con harina de ñame .....	251
CUADRO 31. Evaluación sensorial de los néctares de durazno enriquecidos, elaborados con harina de ñame; y de un néctar de durazno comercial .....	253

CUADRO 33. Formulaciones para los polvos de pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico .....	259
CUADRO 34. Resultados obtenidos en la prueba de viscosidad efectuada a las formulaciones preliminares de polvos para pudín de chocolate enriquecidos .....	260
CUADRO 35. Resultados de la prueba sensorial de valoración por calidad, obtenidos para cada una de las formulaciones preliminares en estudio .....	261
CUADRO 36. Formulaciones seleccionadas a base de almidón de ñame nativo y granular, para la elaboración de polvos para pudín de chocolate enriquecidos .....	263
CUADRO 37. Composición química en base seca de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico y del polvo para pudín de chocolate comercial .....	264
CUADRO 38. Evaluación microbiológica de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo y granular .....	270
CUADRO 39. Resultados obtenidos para los análisis físicos efectuados a las dos formulaciones de polvos para pudín de chocolate enriquecidos en estudio (al primer día de almacenamiento), y al polvo para pudín de chocolate comercial .....	272
CUADRO 40. Resultados obtenidos para los valores de $\Delta E$ , calculados entre las muestras de polvos para pudín de chocolate enriquecidos elaborados .....	274
CUADRO 41. Comportamiento a través del tiempo del color en los polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo y granular .....	275
CUADRO 42. Comportamiento a través del tiempo de los valores de actividad de agua en los polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo y granular .....	276
CUADRO 43. Comportamiento a través del tiempo de los valores de pH y color (L) determinados en los pudines de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo y granular .....	280
CUADRO 44. Comportamiento a través del tiempo de los valores de viscosidad determinados en los pudines de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo y granular .....	280
CUADRO 45. Evaluación sensorial de los pudines de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, reconstituidos .....	285

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Morfología de <i>Dioscorea esculenta</i> y <i>D. alata</i> .....	23
FIGURA 2. Efecto quelante de iones ferrosos de extractos de ñame de diferentes especies .....	31
FIGURA 3. Capacidad antioxidante total de la harina de ñame incorporada a panes trigo-ñame .....	31
FIGURA 4. Estructura química del polímero de amilosa .....	38
FIGURA 5. Estructura química del polímero de amilopectina .....	40
FIGURA 6. Difractogramas de rayos X de almidones de diferentes especies de ñame .....	49
FIGURA 7. Representación esquemática de los cambios que experimentan los gránulos de almidón durante la gelatinización .....	56
FIGURA 8. Modificaciones químicas del almidón .....	70
FIGURA 9. Modificaciones químicas de la molécula de almidón por hidrólisis ácida .....	72
FIGURA 10. Hidrólisis ácida de gránulos de almidón que muestran el polimorfismo del tipo “C” .....	74
FIGURA 11. Representación del proceso de oxidación que experimentan las moléculas de glucosa, una vez que el almidón ha sido hidrolizado .....	77
FIGURA 12. Reacciones químicas requeridas para la formación de almidones con enlaces entrecruzados, tratados con trimetafosfato de sodio, epiclorohidrina y oxocloruro de fósforo .....	80
FIGURA 13. Reacción química requerida para la formación de almidones eterificados, tratados con óxidos de alquilenos .....	81
FIGURA 14. Reacciones químicas requeridas para la formación de almidones esterificados, tratados con vinil acetato, anhídrido acético y ortofosfato .....	84
FIGURA 15. Mecanismo de acción de la enzima $\alpha$ -amilasa sobre las fracciones de amilosa y amilopectina .....	88
FIGURA 16. Mecanismo de acción de la enzima $\beta$ -amilasa sobre las fracciones de amilosa y amilopectina .....	89
FIGURA 17. Hidrólisis del almidón con diferente grado de gelatinización por $\alpha$ -amilasa porcina pancreática .....	92
FIGURA 18. Procedimiento para la obtención de harina de ñame .....	114
FIGURA 19. Procedimiento establecido para la obtención de almidón nativo de ñame .....	116
FIGURA 20. Procedimiento empleado para la obtención de almidón pregelatinizado de ñame .....	118
FIGURA 21. Procedimiento empleado para la obtención de almidón de ñame modificado por hidrólisis alcalina .....	119
FIGURA 22. Procedimiento empleado para la obtención de almidones granulares solubles en agua fría .....	120
FIGURA 23. Esquema tecnológico propuesto para la obtención de néctar enriquecido a base de pulpa de durazno y harina de ñame .....	137
FIGURA 24. Esquema propuesto para la obtención del polvo para pudín de chocolate enriquecido con hierro y ácido fólico .....	148
FIGURA 25. Viscosidad aparente de las suspensiones de almidón nativo y almidones modificados a través del tiempo, a una velocidad de deformación constante .....	171
FIGURA 26. Absorción de agua de la harina y de los almidones de ñame .....	181
FIGURA 27. Solubilidad en agua de la harina y de los almidones de ñame .....	182
FIGURA 28. Poder de hinchamiento de la harina y de los almidones de ñame .....	183
FIGURA 29. Claridad a temperatura ambiente de las pastas de almidón nativo y de los almidones modificados de ñame .....	193
FIGURA 30. Claridad a 4°C de las pastas de almidón nativo y de los almidones modificados de ñame .....	194
FIGURA 31. Estabilidad al congelamiento y deshielo de las pastas de almidón nativo y de los almidones modificados de ñame .....	201
FIGURA 32. Curva amilográfica obtenida para una suspensión de harina de ñame al 7% .....	206
FIGURA 33. Curva amilográfica obtenida para una suspensión de almidón de ñame nativo al 4% .....	207
FIGURA 34. Curva amilográfica obtenida para una suspensión de almidón de ñame pregelatinizado al 4% .....	208
FIGURA 35. Curva amilográfica obtenida para una suspensión de almidón de ñame (4%) modificado por tratamiento alcalino con hidróxido de sodio .....	209
FIGURA 36. Curva amilográfica obtenida para una suspensión de almidón de ñame granular soluble en agua fría (al 4%), modificado por tratamiento alcohólico-alcalino .....	210
FIGURA 37. Digestibilidad por $\alpha$ -amilasa pancreática de la harina, almidón nativo y almidones modificados de ñame .....	211

FIGURA 38. Comportamiento a través del tiempo de los valores de pH determinados para los pudines de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo y granular .....	281
FIGURA 39. Comportamiento a través del tiempo de los valores de color (L) determinados para los pudines de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo y granular .....	281
FIGURA 40. Comportamiento a través del tiempo de los valores de viscosidad determinados para los pudines de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo y granular .....	282

## *INTRODUCCIÓN*

La utilización de harinas y almidones obtenidos a partir de raíces y tubérculos, como materia prima en la elaboración de productos convencionales o en el desarrollo de nuevos productos, es una forma de incentivar e incrementar la producción y demanda de estos tubérculos (Pérez y Pacheco, 2005); ya que por ejemplo el ñame, al deshidratarse bajo la forma de harina puede ser utilizado en la elaboración de sopas, panes y galletas, entre otros productos (Fioreze y Morini, 2000; Akissoe y col., 2004).

El ñame es un cultivo muy valioso debido a su alto contenido de almidón, el cual corresponde al 70 a 80% de su peso en materia seca, a un bajo pero valuable contenido de proteínas, y a su elevada concentración de antioxidantes. Además, el almidón de ñame ha sido reportado como fuente alternativa a los almidones comerciales, debido a que presenta ciertas propiedades funcionales deseables, entre las cuales se encuentra su gran capacidad para mantener su viscosidad estable a altas temperaturas y a bajos valores de pH (Alves y col., 2002; Aluko y Koya, 2006).

La obtención de nuevos productos utilizando harinas y/o almidones de ñame, además de incrementar la producción nacional, permitiría la diversificación de productos alimenticios y el desarrollo de alimentos funcionales, ya que se ha demostrado que cultivos como el ñame, presentan una gran capacidad para

disminuir los niveles de lípidos sanguíneos y un gran poder antioxidante (Akanbi y col., 1996; Hsu y col., 2004; Chou y col., 2006; Pacheco y Sabino, 2006).

El desarrollo de alimentos funcionales dirigidos al adulto mayor, debe responder a sus necesidades energéticas y requerimientos nutricionales, para así prevenir la aparición de enfermedades y mantener un buen estado de salud física y mental (Morales de León y col., 1997); mediante la incorporación de ciertos ingredientes o componentes nutricionales entre los cuales destacan la fibra dietética, los compuestos antioxidantes, las vitaminas y minerales, tales como calcio, hierro y ácido fólico (Del Castillo y col., 2000; Wittig de Penna y col., 2002).

El calcio es uno de los minerales de mayor importancia en la dieta del adulto mayor, ya que su ingesta disminuye los valores de presión sanguínea en mujeres postmenopaúsicas (Charlton y col., 2005) e incrementa la densidad mineral ósea, disminuyendo así los efectos de la osteoporosis (Delmas y Fraser, 1999; Reid, 2007).

Asimismo, la ingesta de alimentos enriquecidos con hierro, como productos de panadería y jugos cítricos, reduce la incidencia de anemia en mujeres postmenopaúsicas (Almeida y col., 2003; Hansen y col. 2005); mientras que la suplementación y fortificación de alimentos con ácido fólico ejerce un efecto protector en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares (Kawell y col., 2000; Carnicer y col., 2007).

En base a las investigaciones citadas, se establece como objetivo general la elaboración y evaluación de alimentos dirigidos al adulto mayor a base de harina y almidones modificados de ñame, enriquecidos con calcio, hierro y ácido fólico, lo cual diversifica el consumo del ñame producido en el país.

## *OBJETIVOS*

### **Objetivo general:**

- Formular y evaluar productos alimenticios dirigidos al adulto mayor, enriquecidos con calcio, hierro y ácido fólico, a base de harina y almidones modificados de ñame (*Dioscorea alata*)

### **Objetivos específicos:**

- Obtener a partir de tubérculos de ñame, harinas, almidones nativos y almidones modificados.
- Evaluar las características físicas, composición química y propiedades funcionales de la harina, almidones nativos y almidones modificados obtenidos a partir de los tubérculos de ñame.
- Formular y elaborar néctar de durazno con harina de ñame, enriquecido con calcio y ácido fólico.
- Evaluar física, química, reológica, microbiológica y sensorialmente, néctar de durazno con harina de ñame, enriquecido con calcio y ácido fólico
- Estudiar la estabilidad durante el almacenamiento del néctar de durazno elaborado.

- Formular y elaborar polvos para pudín con almidón de ñame nativo y modificado, enriquecidos con hierro y ácido fólico.
- Evaluar física, química, reológica, microbiológica y sensorialmente los polvos para pudín enriquecidos con hierro y ácido fólico.
- Estudiar la estabilidad durante el almacenamiento de los polvos para pudín, y de los pudines reconstituidos.

## *I.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA*

### **1. RAÍCES Y TUBÉRCULOS: IMPORTANCIA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Las raíces y tubérculos tropicales son considerados alimentos básicos en la dieta de los pobladores de América Latina, África y Asia; sin embargo, cabe destacar que a pesar de que un gran número de estos cultivos son capaces de desarrollarse a nivel mundial, sólo cinco especies ocupan el 99% del total de la producción: la papa (*Solanum tuberosum*), la yuca (*Manihot esculenta*), la batata (*Ipomoea batatas*), el ñame (*Dioscorea spp.*) y el ocumo (*Colocassia, Cytosperma, Xanthosoma spp.*) (FAO, 1991; Jayakody y col., 2007).

En Venezuela, la mayoría de los cultivos de raíces y tubérculos, y principalmente los de batata, ocumo, apio y ñame se manejan en el ámbito de pequeños sembradíos, y la comercialización es rudimentaria, por lo que no penetran en los canales internacionales de mercadeo, mostrando un valor comercial bastante escaso. Además, este rubro se caracteriza por su elevado contenido de humedad y por ser metabólicamente activo después de la cosecha, lo cual trae como consecuencia la problemática de pérdidas postcosecha que alcanzan hasta un 30% a nivel mundial (FAO, 1998; Pérez y Pacheco, 2005).

A esta problemática se suma el hecho de que los responsables de las

políticas gubernamentales y los investigadores, han prestado muy poca atención a las raíces y tubérculos, ya que la mayoría de los esfuerzos se han centrado en los cultivos comerciales o en los cereales más conocidos y consumidos. No obstante, desde hace algunos años, en Latinoamérica se ha comenzado a contar con ciertas investigaciones que han permitido conocer y mejorar estos cultivos y permitir la diversificación de productos a partir de los mismos (Blanco y col., 2004).

Pérez y Pacheco (2005), indican que las raíces y tubérculos pueden ser procesados a productos no perecederos, tales como harina y almidones, empleando procesos tecnológicos convencionales como la deshidratación y la molienda húmeda, respectivamente. La aplicación de estos procesos se utiliza con la finalidad de disminuir las pérdidas postcosecha, para así mantener una reserva y un sistema de comercialización estable que garantice su suministro en el ámbito nacional durante todo el año. Más aún los productos secos requieren menos espacio y tienen una mayor vida de almacenamiento, pudiendo ser rápidamente reconstituidos y preparados para comer, un factor importante para su consumo por la población urbana (González y Pacheco, 2006; Falade y col., 2007).

Además, Tagodoe y Nip (1994), Salazar y Marcano (2005), señalan que ciertas raíces y tubérculos tropicales no convencionales pueden ser la respuesta a los problemas de alimentación en muchos países alrededor del mundo, y éstas podrían considerarse como fuentes alternativas de almidón, no sólo para la industria alimentaria sino también para otras industrias. Dentro de las raíces y tubérculos no convencionales, Pérez y col. (1997) indican que en Venezuela se

encuentran el “sagu” y el “zulu”, rizomas de elevado rendimiento, buenas características agronómicas, excelente adaptabilidad y buenas fuentes de almidón.

Investigaciones realizadas por el Centro de Investigaciones de Biotecnología Industrial y de Alimentos (CIBIA) de la Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui, Venezuela, revelan que es posible la sustitución parcial de la harina de trigo por otras harinas de cultivos amiláceos como yuca, maíz, ocumo y ñame, para la elaboración de diversos productos alimenticios (Hernández y col., 2005).

Se han realizado numerosos ensayos en un intento por obtener masas panificables horneadas, preparadas a partir de harinas de cultivos amiláceos. Sin embargo, aunque los trabajos son de valor investigativo, han tenido poca aplicación práctica. En muchos casos, se ha utilizado otras harinas, sustituyendo en diversas proporciones a la harina de trigo, sin tener en cuenta la realidad técnica, y con el único objetivo de evitar el desabastecimiento de harinas panificables y asegurar la ración cotidiana de pan, pero los resultados obtenidos no han sido muy buenos (Defloor y col., 2001).

Sin embargo, Hsu y col. (2004); Hernández y col. (2005); Rached y col. (2006); indican que si es posible reemplazar la harina de trigo por otros ingredientes amiláceos, siempre y cuando el porcentaje de sustitución se mantenga dentro de ciertos límites, tomando en cuenta las variaciones en las características físico-químicas y reológicas que esto implica.

En el caso particular del ñame, este es ampliamente consumido en el continente asiático como sustituto del arroz, y al deshidratarse bajo la forma de harina puede ser utilizado en la elaboración de sopas (Rincón y col., 2000), panes y galletas (Hsu y col., 2004; Salazar y Marcano, 2005; Teixeira y col., 2006). En Hawai e Indonesia, el ñame es frecuentemente consumido bajo la forma de una pasta fermentada denominada “poi”, o como “chips”, productos similares a las papas fritas; aunque también suele ser consumido bajo la forma de “kulolo”, producto de aspecto semisólido que contiene cierta cantidad de coco y azúcar (Fioreze y Morini, 2000).

En América, el ñame generalmente se consume cocido bajo la forma de sopas, y aunque existen un gran número de estudios y publicaciones acerca del uso de este tubérculo, aún no ha logrado desarrollar una importancia comercial e industrial significativa, a pesar de ser un cultivo capaz de adaptarse a diversos ambientes, con una buena productividad y con gran valor energético (Silva, 2001).

## **2.- EL ÑAME (*Dioscorea* spp.)**

### **2.1.- Origen.**

El género *Dioscorea* se encuentra ampliamente representado con especies de importancia económica, en las regiones lluviosas tropicales, subtropicales y templadas. Este género tuvo una amplia distribución mundial a fines del cretáceo,

pero la separación de sus formas ancestrales asiáticas y africanas, ocurrió más tarde, en el mioceno (Coursey, 1967).

La especie *Dioscorea alata*, originada en el continente asiático, ocupa la mayor superficie cultivada en los trópicos; le siguen en importancia *D. cayenensis*, *D. bulbifera*, *D. trifida* y *D. esculenta* (Rodríguez, 1995; Otegbayo y col., 2006; Viloria y Alcorcés, 2007).

## **2.2.- Descripción Botánica**

Es una planta anual de tallo aéreo, que puede o no llevar espinas, con hojas acorazonadas alternas u opuestas, de carácter peciolado. Presenta flores pequeñas, agrupadas en racimos o panículas, con 3 sépalos y 3 estambres. Los rizomas se presentan solitarios o en grupo, las yemas proximales del rizoma producen uno o más tallos aéreos, mientras que las yemas laterales forman rizomas secundarios. (Vélez y Vélez, 1990; Shujun y col., 2006).

Los rizomas varían en su forma (globulares, oblongos, planos, etc.), miden aproximadamente 30 cm. de largo y 20 cm. de ancho, y su peso varía desde 500 gramos hasta 20 Kg., dependiendo de la especie (Santos, 1996; Gebre y col., 1998).

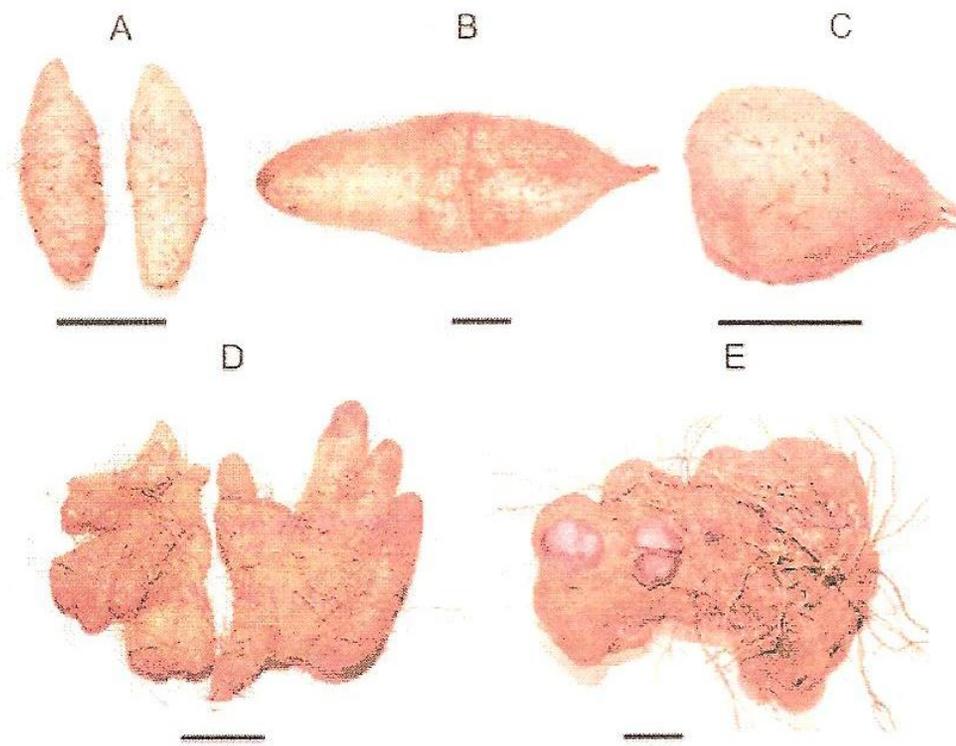
Los rizomas de *Dioscorea* generalmente se conocen como “ñame verdadero”, siendo *D. alata* y *D. esculenta* las dos especies de ñame más cultivadas a nivel

mundial. El tallo de *Dioscorea esculenta* es cilíndrico, cubierto de espinas y en su base presenta una gran cantidad de tubérculos, los cuales generalmente son de forma ovoide y cilíndrica; mientras que *D. alata* presenta cinco fenotipos diferentes (blanco redondo, blanco largo, morado redondo, morado largo y silvestre), con un tallo aéreo trepador y un tallo subterráneo que contiene un solo tubérculo por planta (Figura 1), (Santos, 1996; Jayakody y col., 2007; Vilorio y Alcorcés, 2007).

Por su parte, *Dioscorea bulbifera*, conocido como ñame congo es una planta de origen indomalayo, que desarrolla en las axilas de las hojas unos bulbos comestibles, los cuales externamente son de color marrón claro, e internamente amarillos. Estos bulbos son de forma redondeada, su peso está comprendido entre 9,7 a 281 g., y el largo y ancho de los mismos se encuentra entre 26 a 93,5 mm. y 26,5 a 77,5mm, respectivamente. En Venezuela, este cultivo no ha sido suficientemente explotado o ha sido sub-utilizado a pesar de presentar ciertas características agronómicas importantes, como su adaptabilidad (Rodríguez, 1995; Rincón y col., 2000).

### **2.3.- Producción.**

Los rizomas de diversas especies de ñame (*Dioscorea spp.*), son alimentos muy importantes en muchas áreas tropicales del mundo en desarrollo, y particularmente en la región de África Occidental, denominada “zona del ñame”, donde presenta los mayores niveles de producción y consumo a nivel mundial (Nkala y col., 1994; Farhat y col., 1999).



**Figura 1.** Morfología de *Dioscorea esculenta* (kukulala [A], java-ala [B], nattala [C]) y *Dioscorea alata* (hingurala [D], raja-ala [E]). La barra de escala representa 5 cm. (Jayakody y col., 2007).

Además, Salazar y Marcano (2005), Teixeira y col. (2006); Shujun y col. (2006), señalan que las zonas de mayor producción a nivel mundial, corresponden a Suramérica, la India y el sureste Asiático, ya que las diferentes especies de *Dioscorea* se adaptan fácilmente a la mayoría de los climas tropicales, los cuales presentan temperaturas entre 30 y 34 °C y precipitaciones anuales de 1500 mm.

En nuestro país, su “semilla” se siembra generalmente con las primeras lluvias a finales de Marzo o principios de Abril; y el cultivo maduro generalmente está listo para la cosecha en los meses de Diciembre a Febrero, cuando las hojas comienzan a tornarse amarillentas y los tallos blancuzcos. En Venezuela, el ñame se cultiva de forma tradicional, en terrenos deforestados y quemados, controlando malezas de forma manual y sin uso de agroquímicos. La cosecha se efectúa entre el décimo y doceavo mes, y durante la cosecha se efectúa la selección de “semillas” para la próxima siembra (Cubero, 1984; Ortega, 2005).

Venezuela se ha caracterizado por presentar una gran diversidad de raíces y tubérculos, sin embargo, en los últimos cinco años, se ha reducido la superficie sembrada de papa, apio y ocumo. Los mercados locales, que anteriormente exhibían diversos tipos de ñames, hoy en día solamente pueden ofrecer el denominado “ñame blanco”, por lo que obviamente también ha disminuido la siembra de este cultivo (Viloria y Alcorcés, 2007).

El actual estilo de vida promueve la comida rápida y en tal sentido pocos son los que conservan la tradición de emplear “vegetales” como acompañantes o plato principal; al respecto, los pequeños productores de las zonas rurales de los diferentes países latinoamericanos, se han visto obligados a disminuir la producción de los cultivos tradicionales, lo cual conlleva a la pérdida de la diversidad vegetal (Blanco y col., 2004)

#### **2.4.- Composición química.**

En el Cuadro 1 se presenta la composición química del ñame (*Dioscorea alata*), evaluada en los trabajos de investigación realizados por Fu y col. (2004), Blanco y col. (2004), Chou y col. (2006), Pacheco y col. (2008), donde se puede apreciar que el ñame crudo presenta un elevado contenido de humedad (entre 75 y 80%), y que está constituido principalmente por carbohidratos; de los cuales el almidón corresponde al 75 a 84% del peso seco del tubérculo.

Además, se observa que existen cantidades apreciables de las fracciones de proteínas (desde 4 a 13%), fibra dietética (de 4 a 9%) y cenizas (entre 2 y 3,5%); siendo de acuerdo a lo establecido por Chou y col. (2006), el único representante del grupo de raíces y tubérculos tropicales que muestra valores tan elevados de proteína cruda, con un buen balance de aminoácidos esenciales para la nutrición humana, ya que la fracción de proteínas está constituida por los aminoácidos leucina, isoleucina, valina, lisina, metionina, fenilalanina, triptófano y treonina.

**Cuadro 1.** Composición química en base seca (g / 100 g de producto seco) de tubérculos de ñame (*Dioscorea alata*), evaluada por Fu y col. (2004), Blanco y col. (2004), Chou y col. (2006) y Pacheco y col. (2008).

	<b>Fu y col. (2004)</b>	<b>Blanco y col. (2004)</b>	<b>Hsu y col. (2004)</b>	<b>Chou y col. (2006)</b>
Humedad <sup>a</sup>	79,60	75,20±0,80	78,25±0,56	77,00±1,10
Cenizas	3,30	2,10±0,22	2,90±0,12	3,04±0,10
Proteína cruda	13,20	7,40±0,77	6,75±0,02	4,00±0,70
Grasa cruda	0,28	0,31±0,02	0,28±0,00	0,43±0,00
Almidón	77,4	76,97±0,27	80,1±0,39	83,52±0,98
Fibra dietética	4,2	5,10±0,10	7,60±0,01	8,80±0,20

a: Calculada para el tubérculo fresco.

En cuanto al contenido de lípidos, generalmente éste es menor al 2% del peso seco (Cuadro 1), por lo que la contribución de estos tubérculos a la ingesta diaria de grasa es despreciable. Además, esta pequeña cantidad de componentes grasos, hace a los tubérculos de ñame menos susceptibles a la decoloración y al deterioro (Onwueme, 1982; Osagie, 1982; Oyenuga, 1988).

No obstante, al evaluar la composición de los lípidos presentes en diferentes especies de *Dioscorea*, Osagie (1982) determinó que los ácidos grasos predominantes fueron el palmítico (16:0) y el linoleico (18:2), siendo éste último uno de los ácidos grasos insaturados de mayor valor nutricional.

Otros de los componentes químicos de gran importancia presentes en los rizomas de *Dioscorea spp.* son los ácidos orgánicos y los compuestos fenólicos, los cuales contribuyen a las propiedades o atributos sensoriales. En los tubérculos de ñame, los ácidos orgánicos de mayor importancia son el ácido succínico, cítrico, málico y oxálico (Ikediobi y Oti, 1983; Martin y Ruberte, 1986b; Bhandari y Kawabata, 2004). La concentración bajo la cual se encuentran estos ácidos en diferentes especies se muestra en el Cuadro 2, así como su contenido en polifenoles, de acuerdo a lo reportado por Bhandari y Kawabata (2004).

Estos compuestos fenólicos presentes en los tubérculos de ñame, son los sustratos responsables de reacciones de oscurecimiento enzimático por acción de la enzima polifenoloxidasa, que pueden ocurrir en el producto debido a cortes o daños en el mismo; es decir, que la concentración de compuestos fenólicos

**Cuadro 2.** Contenido de ácidos orgánicos (mg/100 g) y de polifenoles (mg/ 100 g) en diferentes especies de ñame (Bhandari y Kawabata, 2004).

Especies de Ñame	Ácidos Orgánicos				Polifenoles
	Oxálico	Cítrico	Málico	Succínico	
<i>D. alata</i>	70±15	256±26	115±18	330±7	41±15
<i>D. bulbifera</i>	67±9	282±24	266±20	2510±108	166±10
<i>D. deltoidea</i>	197±25	222±31	139±10	2305±88	15±2
<i>D. triphylla</i>	104±24	337±19	69±20	119±5	13±1
Valores promedio	110	274	147	1316	58

presentes en ciertos productos alimenticios, es proporcional a su tasa de oscurecimiento (Asemota y col., 1992; Izundu, 1995; Akissoe y col., 2004). No obstante, estos compuestos fenólicos no están presentes en cantidades significativas en los tubérculos de ñame recién cosechados, pero se incrementan significativamente durante el almacenamiento (Ikediobi y Oti, 1983; Kaur y Kapoor, 2002).

El oscurecimiento en la superficie de ñames de diferentes variedades, al momento del corte o troceado se observa comúnmente, sólo que algunas variedades son más sensibles que otras. El cambio de color en la superficie de corte puede ser eliminado o reducido por la exclusión de oxígeno de la superficie o por tratamiento de la misma con antioxidantes como el ácido ascórbico o ácido cítrico (Martin y Ruberte, 1986a).

## **2.5.- Capacidad antioxidante.**

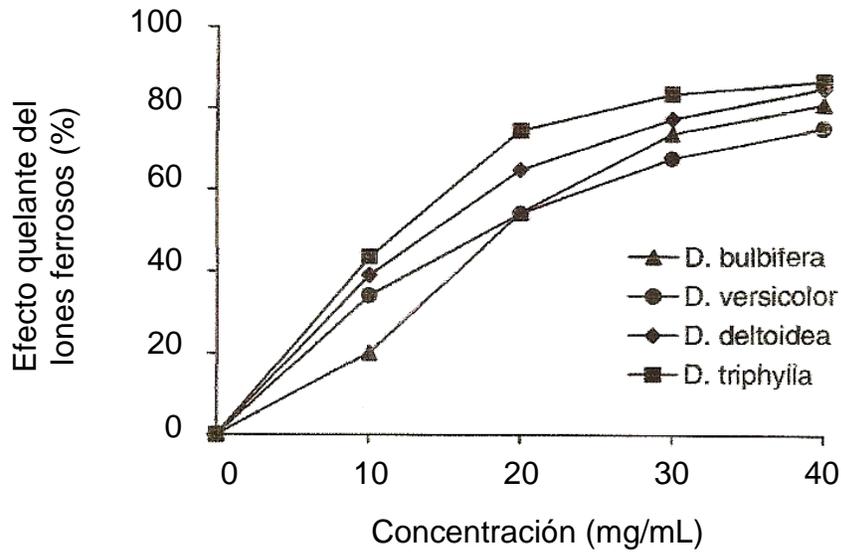
Las especies de oxígeno reactivo y las reacciones mediadas por radicales libres están involucradas en procesos degenerativos o patológicos, tales como el envejecimiento, el cáncer, las enfermedades coronarias y el mal de Alzheimer. Existen estudios epidemiológicos que demuestran la asociación existente entre las personas que consumen una dieta rica en frutas frescas y vegetales y la disminución en el riesgo de aparición de enfermedades cardiovasculares y ciertas formas de cáncer. Diversos autores han estudiado componentes naturales presentes en frutas y vegetales que se caracterizan por su actividad antioxidante,

tales como las antocianinas y los compuestos fenólicos (Gey, 1990; Ames y col., 1993; Hou y col., 2001).

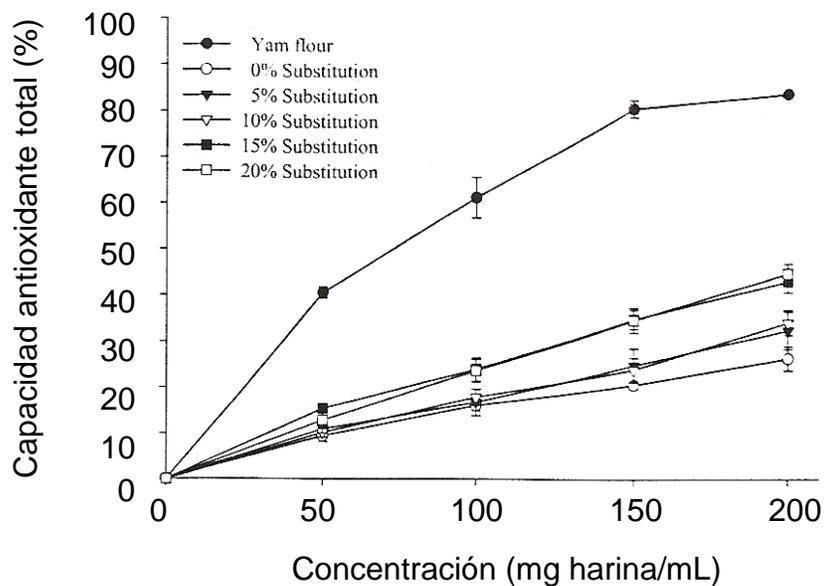
Los tubérculos de ñame contienen polifenoles, tales como catequinas, ácido clorogénico, pro antocianinas y antocianinas, y otros fitoquímicos como el ácido ascórbico, el tocoferol y ciertos pigmentos, a los cuales se les ha atribuido excelentes propiedades antioxidantes (Kaur y Kapoor, 2002).

Para demostrar lo expuesto anteriormente, Bhandari y Kawabata (2004), determinaron el poder antioxidante de extractos de diferentes especies de ñame, evaluando su poder reductor y capacidad para quelar los iones ferrosos (Figura 2). Al observar los resultados obtenidos, los investigadores comprobaron que los extractos acuosos de ñame mostraban un gran poder reductor, el cual fue superior para el extracto proveniente de *Dioscorea deltoidea*; mientras que el extracto de *D. triphylla* presentó la actividad quelante de iones ferrosos más elevada.

Asimismo, al observar los resultados obtenidos por Hsu y col. (2004), quienes determinaron la capacidad antioxidante total de harinas de ñame y de pan elaborado a partir de mezclas de diferentes proporciones de harina de trigo y harina de ñame (Figura 3), se puede apreciar que los panes elaborados sin la incorporación de harina de ñame mostraron cierta capacidad antioxidante, y que ésta se incrementaba a medida que aumentaba el porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de ñame, en los panes sometidos a investigación.



**Figura 2.** Efecto quelante de iones ferrosos de extractos de ñame de diferentes especies (Los valores son medias de triplicados), (Bhandari y Kawabata, 2004).



**Figura 3.** Capacidad antioxidante total (%) de harina de ñame incorporada a los panes trigo-ñame. (Los valores son medias de triplicados), (Hsu y col., 2004).

Posiblemente los componentes bioactivos responsables de la actividad antioxidante, sugeridos por los investigadores, son los polifenoles, las antocianinas y la dioscorina.

La dioscorina es una proteína de almacenamiento presente en los tubérculos de ñame, que se corresponde con el 90% del total de proteínas solubles presentes en diferentes especies (*D. alata*, *D. batata* y *D. pseudojaponica*), que muestra actividad antioxidante debido a su acción sobre ciertos radicales libres (Hou y col., 1999; Hou y col., 2001).

El ñame (*Dioscorea spp.*) es el tercer cultivo de raíces tropicales de mayor importancia a nivel mundial, después de la yuca y de la batata. En la industria farmacéutica china, los rizomas de ñame se utilizan para la indigestión, la anorexia, la diarrea y la diabetes. Además se presume que tiene un efecto hipoglicémico y que promueve la salud de mujeres de la tercera edad. Aunado a esto, se utiliza como fuente de diosgenina, un precursor de progesterona, cortisona y otros esteroides médicamente importantes (Djerassi, 1992; Fu y col., 2004).

Akanbi y col., (1996); Hsu y col., (2004) y Chou y col., (2006), señalan que el ñame (tubérculos de *D. alata*, *D. batatas*, *D. bulbifera*, *D. cayenensis*, *D. doryphora*, *D. japonica*, *D. purpurea*, *D. rotundata*, etc.) ha sido ampliamente estimado como alimento que influye positivamente en la salud de quien lo

consume, aunado al hecho de que es un ingrediente tradicional en la medicina china, debido a su capacidad para disminuir los niveles de lípidos sanguíneos y a su actividad antioxidante, ya que se ha determinado que la harina de ñame contiene antioxidantes naturales que pueden mitigar el daño y las enfermedades causadas por compuestos oxidativos.

Undie y Akubue (1986), indican que en medicina familiar extractos de diversas especies de *Dioscorea* han sido ampliamente utilizados en el tratamiento de *diabetes mellitus*, debido a sus efectos hipoglicémicos demostrados científicamente.

Además, Nimenibo (2003), señala que aparentemente los extractos acuosos de ñame también muestran efectos hiperlipidémicos e hipercolesterolémicos, asociados con el desarrollo de esta enfermedad. Para demostrarlo, investigó el efecto de la administración oral de extractos acuosos de *Dioscorea dumetorum* (ñame amargo) en los niveles de lípidos sanguíneos de ratas diabéticas, demostrando que la ingesta de dicho extracto tuvo efectos hipocolesterolémicos e hipotriacilglicerolémicos, lo cual se debe probablemente, a la presencia de componentes antinutricionales como las saponinas, las cuales muestran una gran capacidad para enlazarse al colesterol y a los triacilglicéridos en el lumen intestinal, disminuyendo así su proceso de reabsorción.

Por su parte, Lin y col. (2006), evaluaron los efectos hipolipidémicos de noodles elaborados a partir de harina de ñame (*D. alata*) sobre ratones hembra por un período de 5 semanas. Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 3, donde se puede apreciar que a medida que se incrementa la cantidad de noodles incorporados a la dieta, los valores de triglicéridos en el suero sanguíneo (TG), colesterol total (TC), lipoproteínas y colesterol de alta densidad (HDL-C), lipoproteínas y colesterol de baja densidad (LDL-C) disminuyen significativamente, debido posiblemente a que las saponinas presentes en los tubérculos de ñame ejercen actividad inhibitoria en el proceso de absorción de colesterol.

Algunas especies de ñame tienen usos medicinales, ya que se han utilizado para combatir la malaria, el asma, la fiebre amarilla y la diabetes; también se han empleado como tónicos cardíacos, sedantes y reguladores de las funciones intestinales . Además, los tubérculos de la mayoría de las especies de ñame poseen taninos, alcaloides, sustancias antialérgicas y dioscorina, siendo ésta última la materia prima utilizada para la síntesis comercial de hormonas sexuales, pastillas anticonceptivas y corticoesteroides de gran importancia en la industria farmacéutica (Onwueme, 1982; Pedralli, 1988; Lape y Treche, 1994; Nimenibo, 2003).

Aunado a esto, ciertas investigaciones han demostrado que polisacáridos como los mananos, presentes en el mucílago viscoso que recubre al rizoma, muestran efectos beneficiosos a la salud, principalmente en el sistema inmune y como antioxidante. Además este mucílago es rico en alantoína y ácido alantoinico,

**Cuadro 3.** Efecto del consumo de noodles elaborados a partir de harina de ñame (*D. alata*) sobre los niveles de lípidos sanguíneos de ratones hembra durante un período de 5 semanas (Lin y col., 2006).

Contenido de lípidos	Porcentaje de noodle de ñame en la dieta			
	0%	3%	12%	30%
TG (mg/dL)	226±90,9	139±106	161±53,7	123±40,9
TC (mg/dL)	122±9,70	128±24,8	117±8,60	112±11,6
HDL-C (mg/dL)	92,2±6,37	101±19,6	92±3,49	89,2±8,48
LDL-C (mg/dL)	18,8±6,17	19,2±7,56	17,6±5,36	16,4±5,17

TG: triglicéridos; TC: colesterol total; HDL-C: lipoproteínas y colesterol de alta densidad; LDL-C: lipoproteínas y colesterol de baja densidad

compuestos químicos que participan en los procesos de regeneración de las células cutáneas (Fu y col., 2004).

### **3.- ALMIDÓN DE ÑAME Y DE OTRAS RAÍCES Y TUBÉRCULOS TROPICALES.**

#### **3.1.- Definición y Estructura química.**

El almidón es un carbohidrato de reserva presente en grandes cantidades en raíces y tubérculos, cereales, semillas y leguminosas, bajo la forma de gránulos parcialmente cristalinos, cuya forma y tamaño varía según el origen botánico (Cheftel, 1977; Belitz y Grosch, 1985).

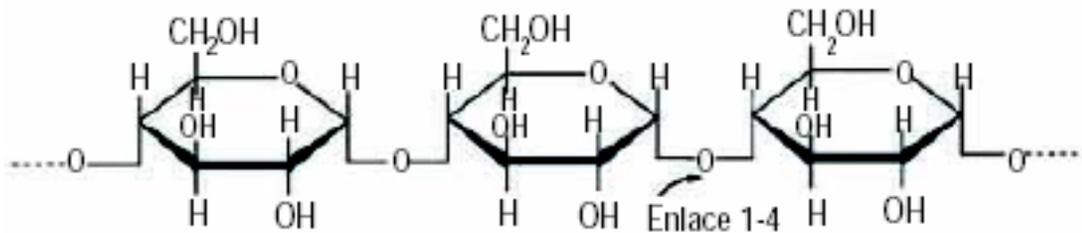
En los cereales se encuentra principalmente en productos como el maíz, el trigo y el arroz, a concentraciones que oscilan entre 30 a 80%; en las semillas de algunos frijoles, chícharos o habas se encuentra entre 25 a 50%, y en las raíces y tubérculos, tales como yuca, papa, batata y ñame, el almidón representa entre un 60 a 90% del peso seco (García y col., 1999; Bello-Pérez y col., 2000a,).

De acuerdo a su estructura química, el almidón es un homopolisacárido de moléculas de anhidro D-glucosa, las cuales se encuentran unidas entre sí mediante enlaces glucosídicos  $\alpha$  1-4 y  $\alpha$  1-6, formando dos tipos de polímeros: amilosa y amilopectina. No obstante, se ha reportado la existencia de un tercer componente conocido como “material intermediario”. La variación en el contenido

de amilosa, amilopectina y del material intermediario está determinada por la fuente botánica, mientras que la proporción bajo la cual se encuentran modifica las propiedades físico-químicas y funcionales de los gránulos de almidón, y en consecuencia su utilización en alimentos y aplicaciones industriales (Wurzburg, 1986; Wang y col., 1993, Seymour y Carraher, 1996; Srichuwong y col., 2005).

La amilosa es un polímero lineal constituido por moléculas de anhidro D-glucosa o glucopiranosas, las cuales se encuentran unidas entre sí mediante enlaces glucosídicos  $\alpha$  1-4 (Figura 4), formando unidades estructurales de maltosa; el número de unidades varía entre los diferentes tipos de almidones, pero generalmente se encuentra entre 1000 unidades de glucosa por molécula de amilosa (Belitz y Grosch, 1985; Cubero y col., 2002; Yúfera, 2003).

En un extremo de la macromolécula la unidad de glucosa contiene el hidroxilo del carbono anomérico libre, por lo cual se llama extremo reductor. En el extremo opuesto o no reductor, el hidroxilo del carbono anomérico forma parte del enlace glucosídico (Figura 4). La abundancia de hidroxilos otorga propiedades hidrofílicas al polímero, impartándole afinidad por el agua. Sin embargo, debido a su linealidad, los polímeros de la amilosa tienden a agruparse en forma paralela mediante la formación de puentes de hidrógeno con los hidroxilos de polímeros adyacentes, reduciendo así su afinidad por el agua (Aspinal, 1983; Coultate, 1998).



**Figura 4.** Estructura química del polímero de amilosa (Coultrate, 1998).

La presencia de los enlaces  $\alpha$  (1-4) determina que los anillos de glucosa no se encuentren en la misma zona planar, por tanto la molécula de amilosa no es una estructura plana, sino que cada unidad de glucosa forma un ángulo con la molécula de glucosa anterior, adoptando una disposición espacial helicoidal, estabilizada por puentes de hidrógeno, los cuales pueden debilitarse o romperse fácilmente por la acción del pH y la temperatura (Lenhinger, 1985; Seymour y Carraher, 1996)

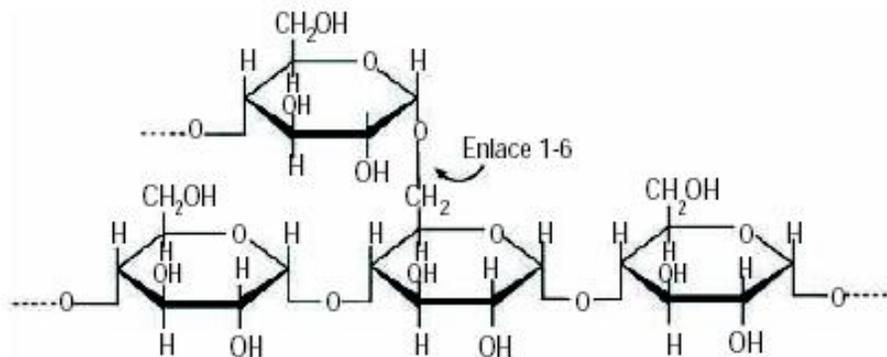
Cabe destacar, que aunque la amilosa es considerada esencialmente lineal, existen ciertas investigaciones que indican la presencia de algunas ramificaciones, las cuales por encontrarse en forma espaciada y por ser poco frecuentes, no afectan su comportamiento lineal. Contiene en promedio, desde 500 hasta 2000 unidades de D-glucosa repetidas en un número de cadenas que va desde 1 a 20; cada cadena presenta un grado de polimerización promedio de 500 Da, y debido a su carácter esencialmente lineal y a la presencia de enlaces  $\alpha$  1,4, la amilosa es

susceptible a formar complejos con moléculas hidrofóbicas como el yodo, los ácidos grasos y los hidrocarburos (Roger y Colonna, 1992 y Ege, 1997),

Los almidones de cereales presentan más o menos un 30% de amilosa, salvo algunas excepciones, como los almidones “waxy” o céreos, que no contienen amilosa o la presentan en valores muy bajos, o los almidones de amilomaíz, cultivar de maíz con concentraciones de amilosa que van desde 50 hasta 75% (Wurzburg, 1986; Zobel, 1988; Coultate, 1998).

En los almidones de raíces y tubérculos también existen variaciones en el contenido de amilosa, que generalmente van desde 25 hasta 30%, ya que se han reportado valores de 22% para el almidón de papa y de 18% en almidón de yuca; mientras que para el almidón de batata se han obtenido valores que van desde 18 hasta 20% (Zobel, 1988; Satin, 1998; Srichuwong y col., 2005).

La amilopectina, es en cambio, un polímero ramificado formado por unidades de anhidro D-glucosa, unidas mediante enlaces  $\alpha$  1-4 en las zonas lineales y en los puntos de ramificación mediante enlaces  $\alpha$  1-6 (Figura 5), que adopta la forma de una especie de ovillo reticulado, en el que cada 20 a 30 anillos de glucosa, aparece una ramificación. Presenta de un 5 a 6% de enlaces  $\alpha$  1-6 y está constituida por aproximadamente 100.000 moléculas de glucosa (Duprat y col., 1980; Cubero y col., 2002; Yúfera, 2003).



**Figura 5.** Estructura química del polímero de amilopectina (Coultate, 1998)

La fracción de amilopectina se presenta bajo la forma de “cluster” o “racimo”, ya que las cadenas ramificadas de este polímero continúan ramificándose, y aunque la estructura no está totalmente aclarada, probablemente las ramificaciones no son producto del azar, sino que forman una estructura definida alrededor de una cadena central, que es la única que presenta un extremo reductor (Cummings y Englyst, 1995; Whistler y Bemiller, 1997)

Wurzburg (1986) señala que las cadenas lineales de ambos polímeros (amilosa y amilopectina), pueden formar hélices con seis moléculas de glucosa por cada ciclo. Sin embargo, manifiesta que en el caso de la amilopectina, los enlaces  $\alpha$  (1-6) son puntos de ruptura para la formación de las hélices y únicamente pueden constituirse hélices cortas con las partes lineales de la molécula. De hecho, Thomas y Atwell, (1999), indican que la fracción de amilopectina cuenta con dos tipos de cadenas: cortas con 15 (DP) grado de polimerización, y largas con 45 DP.

No obstante, los almidones de ñame y de batata presentan moléculas de amilopectina de cadenas muy cortas, con grados de polimerización que van desde los 6 hasta los 12 DP. La proporción en la cual se encuentran estas cadenas es de 19 y 17%, respectivamente; mientras que en el resto de los almidones de raíces y tubérculos, estas cadenas extremadamente cortas se encuentran en apenas un 13% de la estructura de la molécula de amilopectina (Freitas y col., 2004).

El gran tamaño y naturaleza ramificada de la amilopectina reduce su movilidad e interfiere en su tendencia a orientarse, disminuyendo la posibilidad de formación de puentes de hidrógeno entre cadenas del polímero (Ege, 1997; Whistler y Bemiller, 1997; Cubero y col., 2002). Por lo tanto, las soluciones acuosas de amilopectina se caracterizan por su claridad, estabilidad y resistencia a la formación de “geles” durante el almacenamiento; es decir, es menos susceptible al proceso de retrogradación. No obstante, en condiciones de temperatura elevada y a altas concentraciones, la fracción ramificada de amilopectina puede retrogradar (Ishiguro, 2000; Swinkels, 1987).

La organización intramolecular entre amilosa y amilopectina mediante puentes de hidrógeno entre grupos hidroxilo, o directamente a través de moléculas de agua, conduce a la formación de una estructura semicristalina altamente organizada, donde alternan las zonas cristalinas (dobles hélices) con las amorfas (zonas de densa ramificación), (Belitz y Grosch, 1985; Cummins y Englyst, 1995; Coultate, 1998).

Los gránulos de almidón presentan una forma y un tamaño específico y una composición química característica, que en líneas generales está determinada por un bajo contenido de cenizas, lípidos y proteínas, y por una concentración de amilosa que varía entre un 20 a 30%, dependiendo de la especie botánica (Gallant y col., 1982).

Ciertos investigadores, como Zaidul y col. (2007), determinaron la composición química de almidones de diferentes especies de raíces y tubérculos (Cuadro 4), donde se puede apreciar que al analizar muestras de almidón de papa, batata, yuca y ñame, no se observaron diferencias significativas para la concentración de grasa y proteínas; no obstante, el contenido de amilosa fue significativamente superior para los almidones de yuca y ñame, con valores iguales a 28,8 y 25,8%, respectivamente.

Asimismo, Pérez y col. (2005), al determinar la composición química de almidones obtenidos a partir de *Xanthosoma sagittifolium* (tannia) y *Colocassia esculenta* (taro) (Cuadro 5), determinaron que los almidones analizados contenían pequeñas cantidades de proteínas, sin mostrar diferencias significativas entre muestras; no obstante, al evaluar el contenido de cenizas y grasa cruda si se observaron diferencias estadísticamente significativas, las cuales según los investigadores, podrían atribuirse a las diferentes fuentes botánicas y al método de extracción de almidón. En cuanto al contenido de amilosa, los valores obtenidos fueron de 35,34 y 30,62%, respectivamente.

**Cuadro 4.** Composición química de almidones de papa, batata, yuca y ñame (Zaidul y col., 2007).

Muestra	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Amilosa (%)	Fósforo (ppm)
Papa	15,6	<0,1	trazas	21,5±1,1d	847,2a
Batata	15,9	<0,1	trazas	23,4±1,0c	231,3b
Yuca	13,4	<0,1	trazas	28,8±0,7a	97,0d
Ñame	16,9	<0,1	trazas	25,8±0,5b	166,1c

Valores seguidos de letras diferentes en la misma columna muestran diferencias estadísticamente significativas a  $p < 0,05$ .

**Cuadro 5.** Composición química, rendimiento y pureza (p/p; base seca) de almidones aislados de tubérculos de *Colocasia esculenta* y *Xanthosoma sagittifolium* (Pérez y col., 2005).

Parámetros	<i>Xanthosoma sagittifolium</i>	<i>Colocasia esculenta</i>
% Humedad	13,43±0,01a	14,01±0,05a
% Proteína cruda	0,56±0,05a	0,53±0,04a
% Grasa cruda	0,1±0,01b	0,27±0,01a
% Cenizas	0,20±0,04b	0,31±0,01a
% Fibra cruda	ND	ND
% Azúcares Totales	0,08±0,00a	0,04±0,00b
Fósforo (mg/100 g)	0,07±0,001a	0,01±0,01c
% Amilosa	35,34±0,65a	30,62±0,16b
% Rendimiento	10-12	10-12
% Pureza	99,06b	98,85c

ND: no detectada por el método utilizado.

Por su parte, Jayakody y col. (2007), al analizar la composición química de almidones de ñame, y específicamente de diversas variedades de *Dioscorea esculenta* y *D. alata*, determinaron que éstos presentaban un alto grado de pureza, debido a su bajo contenido de cenizas y proteínas. Sin embargo, la cantidad de lípidos amiláceos (superficiales y enlazados), reportados para ambas especies mostró valores superiores a los obtenidos por Moorthy (2002), para almidones de otras raíces y tubérculos (0,02 a 0,19%). El contenido de amilosa total fue de 19,98% a 23,97% y de 24,73% a 29,29% para *D. esculenta* y *D. alata*, respectivamente, valores similares a los obtenidos por Hoover (2001) para almidones de *Dioscorea* y de otros tubérculos (de 10 a 38%).

Por su parte, Freitas y col. (2004), al analizar la composición química de almidones de *Dioscorea alata* y *Manihot utilissima*, observaron que el contenido de amilosa fue significativamente superior en el almidón de ñame (36%). El contenido de amilosa determinado en este almidón de ñame fue diferente a los valores obtenidos por Jayakody y col. (2007), Araujo y col. (2004) y Farhat y col. (1999), debido posiblemente a que se trata de diferentes especies de *Dioscorea*, y a las diferencias existentes en las condiciones de cultivo, el método de extracción de lípidos y la metodología utilizada para la determinación de amilosa.

Al observar los resultados obtenidos para la composición química de diversos tipos de almidones de ñame y de otras raíces y tubérculos, presentados en los diferentes trabajos de investigación citados anteriormente, se puede concluir que

las bajas concentraciones de proteínas, grasa, cenizas y fibra están asociadas con procesos de extracción y purificación de almidón altamente eficientes.

No obstante, a pesar de la importancia del ñame como fuente de energía, una caracterización detallada de la fracción amilácea de numerosas variedades existentes aún no ha sido realizada. El conocimiento detallado de las características de estos almidones puede facilitar la selección de genotipos apropiados para su uso en productos alimenticios, así como para la obtención de harinas compuestas con trigo, maíz, arroz y yuca, entre otros, para extender el uso potencial de este tubérculo y así obtener productos comerciales con un mayor valor agregado (Gebre y col., 1998; Guanaratne y Hoover, 2001).

### **3.2.- Propiedades físicas y físico-químicas**

#### **3.2.1.- Morfología y tamaño del gránulo.**

Los almidones de ñame, así como los almidones de otras raíces y tubérculos, difieren en forma y tamaño según la especie botánica; el conocimiento de estas diferencias permite determinar su capacidad de absorción de agua y la susceptibilidad del gránulo frente a la acción de ciertos agentes físicos, químicos y enzimáticos. Además la forma del gránulo se utiliza como indicador del origen del almidón y puede ser utilizado como parámetro de calidad para identificar

almidones adulterados (Niba y col., 2001).

La morfología de gránulos de almidón de diferentes variedades de ñame, de yuca y de papa, haciendo uso de microscopía de luz polarizada, fue determinada por Farhat y col. (1999), Los resultados obtenidos determinaron la existencia de diferencias significativas en cuanto a la forma y tamaño de los diversos almidones en estudio, siendo los gránulos de tres variedades de ñame (*Dioscorea cayensis*, *D. rotundata* y *D. alata*) y los gránulos de papa, los de mayor tamaño; mientras que los gránulos de almidón de yuca y de *D. dumetorum* eran más pequeños que los anteriores.

Por su parte, Gebre y col. (1998), al realizar micrografías electrónicas de almidón de *Dioscorea abyssinica*, observaron que dicho almidón está constituido por gránulos alargados de pequeño tamaño y de forma redondeada, que como era de esperarse, difieren en forma y tamaño de los gránulos de almidón de las diferentes variedades

La morfología y el tamaño de los gránulos de almidones de *Xanthosoma sagittifolium*, *Colocasia esculenta* y *Manihot esculenta* fue determinada por Pérez y col. (2005), quienes comprobaron que cada una de las especies botánicas analizadas presentaba gránulos de almidón con formas características, siendo los de *X. sagittifolium* y *M. esculenta* los de mayor tamaño.

### 3.2.2.- Patrón de difracción.

La difracción de rayos X es el método más utilizado para el estudio de la estructura cristalina de los gránulos de almidón, gracias a esta metodología los gránulos pueden separarse en tres grupos: i) el tipo A, característico de los almidones de cereales, que muestra dos picos entre  $8$  y  $9^\circ\theta$ , y un pico cercano a  $12^\circ\theta$ , ii) el tipo B, característico de las raíces y tubérculos, el cual muestra un pico cercano a  $3^\circ\theta$ , un pico cercano a  $8^\circ\theta$ , y dos picos a  $11$  y  $12^\circ\theta$ , y iii) el tipo C, característico de los almidones de leguminosas (Gallant y col., 1982; Hizukuri y col., 1983; Buléon y col., 1987; Zobel, 1988; Cummings y Englyst, 1995).

No obstante, los almidones de raíces y tubérculos pueden separarse en los tipos A y B; el tipo A incluye a especies de *Manihot*, *Ipomoea*, *Dioscorea dumetorum* y *Colocasia*; mientras que el tipo B está representado por especies de *Canna* y de otras *Dioscoreas* comerciales, tales como *D. alata*, *D. cayenensis*, *D. bulbifera*, *D. rotundata* y *D. esculenta* (McPerson y Jane, 1999; Jayakody y col., 2007).

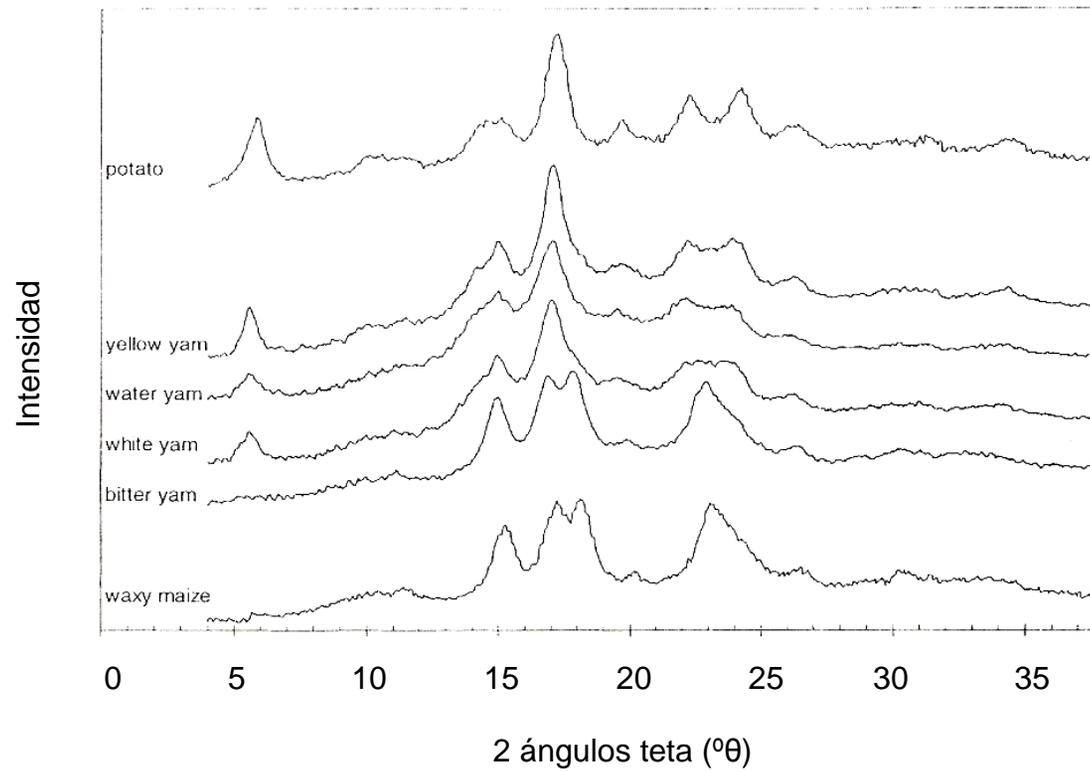
En vista de los resultados obtenidos en diversos trabajos de investigación, se ha determinado que almidones extraídos a partir de diferentes especies de *Dioscoreas* pueden exhibir patrones de difracción tanto del tipo A, como B y C.

Por ejemplo, las evaluaciones de almidones de *Dioscorea cayensis*, efectuada por Farhat y col. (1999), y de *D. abyssinica*, llevada a cabo por Gebre y col. (1998), revelaron un espectro de difracción similar al registrado para almidones nativos de papa, por lo cual les fue asignado el patrón de difracción del tipo B, característico de estructuras cristalinas. En cambio, almidones de *D. dumetorum* mostraron un espectro muy similar al de almidón de maíz céreo, por lo cual se les asignó un patrón de difracción del tipo A (Figura 6).

Los almidones de *D. rotundata*, *D. alata* y *D. esculenta*, al ser evaluados por Farhat y col. (1999) y Jayakody y col. (2007), mostraron patrones de difracción intermedios del tipo C, con características cristalinas del tipo B y polimórficas del tipo A.

### **3.2.3.- Propiedades funcionales de los almidones.**

La capacidad de los productos alimenticios que contienen almidón para formar pastas o geles está determinada por la capacidad de retención de agua, el poder de hinchamiento, la solubilidad en agua y la viscosidad, propiedades funcionales que determinan la textura y la calidad de los mismos (Niba y col., 2001).



**Figura 6.** Difractogramas de rayos X de almidones de diferentes especies de ñame. (Los espectros de los almidones de papa y de maíz céreo se incluyen como representativos de los polimorfismos B y A, respectivamente) (Farhat y col., 1999).

### **3.2.3.1.- Poder de hinchamiento y solubilidad en agua.**

Según Fennema (1980), Atwell y col. (1988); Tester y Karkalas (1996), al incrementar la temperatura, las moléculas de almidón en presencia de agua vibran vigorosamente, provocando la ruptura de los puentes de hidrógeno o enlaces intermoleculares que estabilizan la estructura de las dobles hélices en las regiones cristalinas, separándose fragmentos de las cadenas de almidón, que facilitan la formación de nuevos puentes de hidrógeno con el agua, la cual al formar parte de la estructura intragranular provoca el hinchamiento de los gránulos y el consecuente aumento de volumen de los mismos.

Es decir, la capacidad de hinchamiento de un determinado tipo de almidón se ve afectada por las fuerzas de enlace presentes en el interior del gránulo; por lo tanto, gránulos de almidón altamente asociados con una estructura micelar extensa y fuertemente enlazada, generalmente muestran una gran resistencia al hinchamiento. Aunado a esto, la presencia de lípidos puede inhibir el hinchamiento de los gránulos, debido a la formación de complejos insolubles con la fracción de amilosa (Hoover y Hadziyev, 1981; Gebre y Schmidt, 1996).

Además Han y col., (2002) y Han y Hamaker, (2002), manifiestan que la presencia de proteínas en el interior de los gránulos de almidón, principalmente en

aquellos derivados de cereales, también juega un papel fundamental en el control del hinchamiento.

El poder de hinchamiento y la solubilidad proporcionan evidencia de la magnitud de la interacción entre las cadenas de almidón, y de la proporción bajo la cual se encuentran las regiones amorfas y cristalinas. La extensión de la interacción está determinada por la amilosa, la proporción de amilopectina y las características de la amilosa y la amilopectina en términos de peso molecular, grado de ramificación, longitud de las cadenas ramificadas y conformación de las moléculas (Ratnayake y col., 2002)

Debido a que la capacidad de absorción de agua depende principalmente del tipo de almidón, el poder de hinchamiento de los almidones de cereales es más limitado que el que se observa en los almidones de raíces y tubérculos. De hecho, ciertas investigaciones han demostrado que los gránulos de almidón de cereales no están en la capacidad de hincharse por completo hasta que la fracción de amilosa haya sido lixiviada completamente del gránulo, sugiriendo que la amilosa es el polímero responsable de restringir el hinchamiento y mantener la integridad de los gránulos hinchados. (Bowler y col., 1980; Bryan y Hamaker, 1997).

En el caso del ñame, al evaluar el poder de hinchamiento y la solubilidad de almidones provenientes de *D. abyssinica* (Gebre y col. 1998), *D. alata* (Nkala y

col., 1994; Mali y col., 2005; Jayakody y col., 2007) y *D. esculenta* (Jayakody y col., 2007), se determinó que tanto la capacidad de absorción de agua como la solubilidad, se incrementaban a medida que aumentaba la temperatura de tratamiento, hasta alcanzar a la temperatura de 90°C, valores de poder de hinchamiento comprendidos entre 28 y 65%, y de solubilidad de 4 a 13%.

Cabe destacar, que los almidones de las variedades “Natala” y “Java-ala” de *D. alata*, evaluados por Jayakody y col. (2007), fueron los que presentaron los valores más altos de poder de hinchamiento (entre 45 y 62%),

Sin embargo, Lauzon y col. (1995), al evaluar almidones de *D. alata*, encontraron que los resultados obtenidos para la prueba de poder de hinchamiento fueron inferiores a los reportados en los trabajos de investigación anteriormente citados. Estas diferencias podrían atribuirse al hecho de que se trata de diferentes variedades de ñame, que difieren en su contenido de amilosa, en el grado de cristalinidad y en la concentración de lípidos acomplejados a las moléculas de amilosa.

Por su parte, Pérez y col. (1999), evaluaron almidones nativos de *Arracacia xanthorrhiza* (apio) y *Manihot esculenta* (yuca), encontrando valores de poder de hinchamiento a 90°C de 28 y 43%, respectivamente, resultados similares a los reportados para los almidones de diferentes variedades de ñame, anteriormente

mencionados; mientras que los valores de solubilidad a la misma temperatura fueron de 14,9 y 35%.

Ciacco y D`Appolonia (1977), y Moorthy (2002), también evaluaron la capacidad de absorción de agua de almidones nativos de yuca, reportando valores de 45 y 38% de poder de hinchamiento, similares a los determinados por Pérez y col. (1999) y a los reportados por González y Pérez (2003), que al evaluar el poder de hinchamiento y la solubilidad en agua de almidones de yuca nativos; observaron que a temperaturas de 90°C los valores obtenidos fueron de 38% y 32%, respectivamente.

En cambio, Lewandowicz y col. (1997), Ganga y Corke (1999), McPerson y Jane (1999), al evaluar almidones nativos de diferentes variedades de papa (*Solanum tuberosum*), encontraron a temperaturas de 90°C, valores de poder de hinchamiento comprendidos entre 54 y 72%, los cuales resultaron ser superiores a los obtenidos por Gebre y col. (1998), Nkala y col., (1994), Mali y col. (2005) y Jayakody y col. (2007) en almidones nativos de diferentes tipos de ñame; en cambio, los valores de solubilidad fueron similares, y se encontraban en el rango comprendido de 7,5 hasta 8,2%.

No obstante, Meza y col. (2001) obtuvieron suspensiones de almidón de papa con un mayor poder de hinchamiento, comprendido entre 72,8 y 88,5%; dichos investigadores señalan que el elevado poder de hinchamiento de los almidones de papa, en comparación con el resto de los almidones obtenidos a partir de otras

raíces y tubérculos, no sólo está determinado por su mayor contenido de amilopectina y por la presencia de enlaces intragranulares más débiles, sino que también está relacionado con el mayor tamaño de sus gránulos.

En lo que se refiere al almidón de maíz, Wang y Wang (2003), Lawal y col. (2005) y Sandhu y col. (2008), determinaron el poder de hinchamiento de almidones nativos y encontraron valores comprendidos entre 12,5 a 22,8%, muy inferiores a los obtenidos para almidones de raíces y tubérculos.

Estas diferencias, según Aspinall (1983), Ganga y Corke (1999), Romero y col. (2005) y Sandhu y col. (2008), se atribuyen a varias razones: i) los gránulos de almidón de cereales presentan un mayor contenido de amilosa, lo cual disminuye su capacidad de hinchamiento porque los polímeros de amilosa tienden a agruparse en forma paralela mediante la formación de puentes de hidrógeno, reduciendo su afinidad por el agua, ii) son gránulos de menor tamaño y iii) generalmente se encuentran acomplejados con moléculas proteicas que disminuyen su capacidad de absorción de agua.

Por su parte, Lu y col. (2008) al evaluar almidones de arroz y maíz céreo encontraron valores de poder de hinchamiento desde 45 a 60%, similares a los determinados por Sandhu y col. (2008), y de solubilidad desde 18 hasta 25%, a temperaturas de 90°C. No obstante durante el proceso de hinchamiento de los gránulos al incrementar gradualmente la temperatura, se observó un patrón de hinchamiento en dos etapas, señalando la existencia de más de un tipo de enlaces

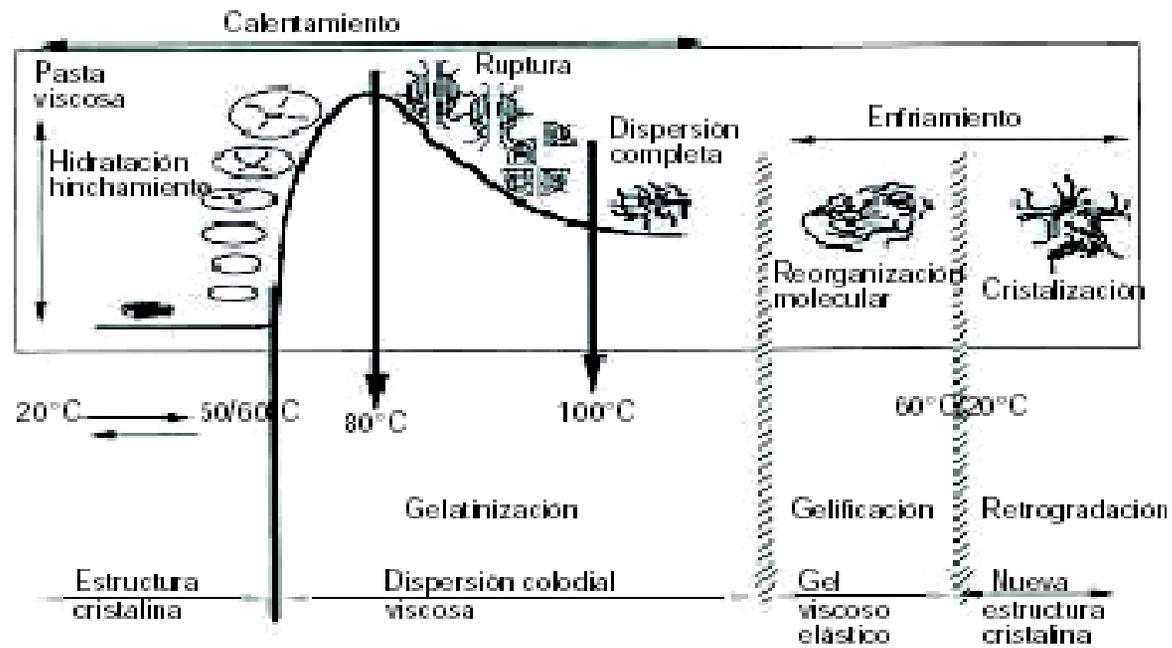
intragranulares, los cuales se relajan a diferentes temperaturas, característico de los almidones que muestran un elevado contenido de amilopectina.

### **3.2.3.2.- Gelatinización.**

La gelatinización del almidón se refiere al colapso o disrupción del orden molecular en el interior de los gránulos cuando éstos se calientan en presencia de agua, provocando la aparición de una serie de cambios irreversibles, entre los cuales destacan la pérdida de birrefringencia, el incremento en el tamaño de los gránulos y la solubilización del almidón (Figura 7) (Ring, 1985; Atwell y col., 1988, Tester y Morrison, 1990; Rao y col., 1997).

Los gránulos de almidón intactos son insolubles en agua fría, debido a su elevado peso molecular y a la presencia de puentes de hidrógeno intragranulares, que mantienen unidas las cadenas de amilosa y amilopectina bajo la forma de una estructura ordenada semicristalina (Belitz y Grosch, 1985; Coultate, 1998; Niba, 2001; Moorthy, 2002)

Sin embargo, cuando se inicia el calentamiento de las suspensiones de almidón, en una primera etapa, las moléculas de agua se difunden por las zonas amorfas del gránulo produciéndose un hinchamiento reversible. La fracción de amilosa comienza a solubilizarse y el sistema almidón-agua se transforma en una dispersión coloidal constituida por una fase continua o disolvente que se enriquece



**Figura 7.** Representación esquemática de los cambios que experimentan los gránulos de almidón durante la gelatinización (Howling, 1980).

en amilosa, y una fase dispersa de gránulos de almidón hinchados enriquecidos en amilopectina (Miles y col. 1984; Eliasson, 1985; Karim y col., 2008).

En vista de que en esta etapa de “hinchamiento reversible” los gránulos de almidón aún conservan su estructura semicristalina, sus propiedades ópticas no se ven afectadas, entre las cuales destaca la birrefringencia, que no es más que la capacidad que tiene la suspensión de almidón de refractar la luz polarizada en dos direcciones perpendiculares entre sí, bajo la forma de una cruz conocida como “Cruz de Malta”, como si la suspensión de almidón tuviera dos índices de refracción diferentes. Esta propiedad de birrefringencia es producto de la forma bajo la cual se organizan las moléculas en el interior de los gránulos (Bowler y col., 1980; Aspinal, 1983; Beleia y col., 2006).

Si el calentamiento continúa, se rompen los puentes de hidrógeno en el interior de los gránulos, facilitando el ingreso de agua a los mismos; éstos absorben agua lentamente y se hinchan (Eliasson, 1985; Ring, 1985). Este proceso es irreversible y ocurre después de que se alcanza una temperatura crítica que depende de la humedad presente, definida como temperatura de transición vítrea o temperatura de gelatinización, la cual es característica de cada almidón pero también depende de la concentración de la suspensión (Carr, 1993; Coultate, 1998; Freitas y col., 2004).

Alcanzada esta temperatura, ocurre el fenómeno endotérmico conocido como *gelatinización*, donde las moléculas de almidón al encontrarse completamente

hidratadas comienzan a expandirse, las hélices de las fracciones de amilosa y amilopectina se abren, y la cadena lineal más corta (amilosa) tiende a difundirse, se incrementa el hinchamiento y la birrefringencia desaparece (Atwell y col., 1988; Wootton y Ho, 1989; Waniska y Gómez, 1992; Rao y col., 1997; Moorthy, 2002)

El incremento en la capacidad de absorción de agua, así como el aumento de tamaño y volumen que experimentan los gránulos, van acompañados de un fuerte incremento en la viscosidad hasta alcanzar un valor máximo conocido como *pico de viscosidad*, en el cual los gránulos de almidón se rompen, provocando la lixiviación de las fracciones de amilosa y amilopectina, pero principalmente de las moléculas de amilosa, generándose así una mezcla de gránulos hinchados ricos en amilopectina, gránulos fundidos hidratados y moléculas de amilosa disueltas (Howling, 1980; Tester y Karkalas, 1996; Karim y col., 2008).

El proceso que involucra la disrupción de los gránulos de almidón y la exudación de los componentes moleculares del mismo, provocando eventualmente la total disolución de los gránulos se conoce como “Pasting”, y generalmente se considera como un fenómeno seguido a la gelatinización (Miles y col., 1984; Roussel y col., 1991; Waniska y Gómez, 1992).

No obstante, Lii y col. (1982) y Thomas y Atwell, (1999) señalan que a pesar de que la definición de “pasting” está claramente diferenciada del significado de la gelatinización y se describe como un proceso secuencial de la misma, el hinchamiento granular y la pérdida de componentes moleculares son una

continuación del estado de gelatinización.

Una vez ocurrida la gelatinización, durante el enfriamiento de la suspensión, ocurren los fenómenos conocidos como *gelificación* y *retrogradación*. En la gelificación las moléculas de almidón se vuelven menos solubles y tienden a agregarse, mientras que en la retrogradación ocurre la recristalización de las cadenas de los polímeros agregados en el gel (Kitamura y col., 1984; Miles y col., 1985; Leloup y col., 1992; Keetels y col., 1996; Karim y col., 2008)

De acuerdo a lo establecido por Bowler y col. (1980), Atwell y col. (1988) y Karim y col. (2000), la retrogradación ocurre en tres etapas, las cuales consisten en lo siguiente: i) formación de puntos simples de enlace entre dos o más cadenas de almidón, ii) reordenamiento molecular y iii) formación de puentes de hidrogeno entre moléculas adyacentes para constituir una nueva estructura cristalina.

La presencia y el desarrollo de la retrogradación depende de la especie botánica, de la proporción de amilosa y amilopectina, del peso molecular de la amilosa y de la longitud de la cadena de amilopectina (Keetels y col., 1996; Thomas y Atwell, 1999). Es un proceso que ocurre cuando las pastas cocidas de almidón comienzan a incrementar su opacidad y a formar un gel rígido; con el tiempo estos geles incrementan su tendencia a experimentar la exudación de agua, bajo un fenómeno conocido como sinéresis (Jacobson y col., 1997; Ishiguro, 2000; Zhang y col., 2005).

Farhat y col. (1999) y Zaidul y col. (2007), determinaron las propiedades de gelatinización de suspensiones de almidón de diferentes raíces y tubérculos, haciendo uso de un Análisis Rápido de Viscosidad. Los resultados obtenidos (Cuadro 6), indican que los almidones aislados a partir de papa y de diferentes variedades de ñame fueron los que presentaron los mayores valores de viscosidad máxima; no obstante, los almidones de ñame, a diferencia de las suspensiones de almidón de papa, batata y yuca mostraron valores de estabilidad negativos, ya que fueron capaces de mantener su viscosidad estable durante la fase de calentamiento. En cuanto a los valores de asentamiento, se puede apreciar que los almidones de ñame fueron los que reportaron los valores más altos, debido a su mayor capacidad para incrementar su viscosidad en la etapa de enfriamiento.

Las propiedades de pasting del almidón de *D. abyssinica* fueron determinadas por Gebre y col. (1998), quienes demostraron que la temperatura de gelatinización para una suspensión al 6% del almidón de ñame en estudio, se corresponde con un valor igual a 72,9°C, valor más elevado que el obtenido por Gebre y Schmidt (1996) para el almidón de papa (61,6°C), pero más bajo que el determinado por dichos investigadores para el almidón de maíz (83,3°C).

El pico de viscosidad alcanzado por el almidón de ñame estudiado por Gebre y col. (1998) es igual a 781 UB, valor inferior al obtenido para el almidón de papa, pero superior al del almidón de maíz; además, cabe destacar que la viscosidad del almidón de ñame se mantiene durante el período de calentamiento a temperatura constante, lo cual indica que dicha suspensión de almidón es capaz de mantener

**Cuadro 6.** Propiedades de gelatinización de suspensiones de almidón de papa, batata, yuca y diferentes variedades de ñame, evaluadas por Farhat y col. (1999) (al 8%) y Zaidul y col. (2007) (al 6%).

MUESTRAS	Temperatura gelatinización (°C)	Viscosidad máxima (RVU)	Viscosidad final calentamiento (RVU)	Estabilidad (RVU)	Viscosidad final enfriamiento (RVU)	Asentamiento (RVU)
Farhat y col. (1999)						
<i>D. cayensis</i>	75,0	389,3	396,5	-7,2	469,5	73,0
<i>D. rotundata</i>	78,2	323,7	582,6	-258,9	645,8	63,2
<i>D. alata</i>	79,8	323,0	422,7	-99,7	481,7	59,0
<i>D. dumetorum</i>	83,1	227,8	302,8	-75,0	355,1	52,3
Papa	65,5	894,4	296,8	597,6	320,5	23,7
Yuca	68,6	213,4	138,5	74,9	184,7	46,2
Zaidul y col.(2007)						
Papa	69,1	543,9	165,4	378,5	204,8	39,4
Batata	81,5	132,8	96,8	36,0	139,1	42,3
Ñame ( <i>D. alata</i> )	71,1	224,1	276,0	-51,9	343,4	67,4
Yuca	72,7	134,9	75,9	59,0	122,5	46,6

su integridad estructural bajo condiciones agitación y calentamiento.

El proceso de gelatinización de suspensiones de almidón de diferentes variedades de ñame (*D. rotundata* y *D. alata*) también fue evaluado por Otegbayo y col. (2006), quienes haciendo uso de las curvas amilográficas determinaron que ambos tipos de almidón eran capaces de desarrollar elevados valores de viscosidad máxima, lo cual permite predecir la capacidad de estos almidones para formar pastas espesas en el calentamiento. Asimismo, los valores de estabilidad y asentamiento fueron similares a los reportados por Farhat y col. (1999), aunque cabe destacar, que el valor de estabilidad obtenido para *D. rotundata* fue significativamente superior al determinado para *D. alata*.

#### **4.- ALMIDONES MODIFICADOS**

##### **4.1.- Importancia y uso de los almidones nativos vs. almidones modificados.**

En la industria de alimentos el almidón ha sido ampliamente utilizado para controlar la consistencia y la estabilidad, para enlazar, expandir, densificar, aclarar y opacar, atraer o inhibir el contenido de humedad, para otorgar diferentes texturas y para la estabilización de emulsiones, entre muchas otras funciones (Howling, 1980; Rutenberg y Solarek, 1994; Seymour y Carraher, 1996; Coultate, 1998; Satín, 1998)

No obstante, los almidones nativos exhiben ciertas desventajas al ser aplicados a nivel industrial, limitadas por sus propiedades funcionales, ya que a pesar de que se hidratan e hinchan rápidamente, éstos se rompen con facilidad disminuyendo su viscosidad, producen pastas muy fuertes y cohesivas, y son insolubles en agua fría (Takeda y Priess, 1993; Bemiller, 1997; Slattery y col., 2000; Amani y col., 2005; Hung y Morita, 2005; Singh y col., 2007; Shujun y col., 2008).

Además, Wurzburg (1986) y Schmitz y col. (2006) señalan que las características reológicas de algunas dispersiones de almidón nativo, como las provenientes de raíces y tubérculos, imparten una textura gomosa y cohesiva, en aquellos alimentos donde se utilizan como agentes espesantes.

Asimismo, Kaur y col. (2004) indica que algunos gránulos de almidón nativos muestran características peculiares, tales como baja resistencia al shock mecánico y térmico, descomposición térmica y retrogradación lenta, lo cual limita su uso en alimentos que requieren de una gran estabilidad durante el procesamiento y el almacenamiento.

Con el propósito de satisfacer ciertos requerimientos específicos en la industria de alimentos, se ha recurrido al uso de almidones modificados, los cuales según Badui (1993), Hermansson y Svegmark (1996); Cubero (2002), se pueden definir como cualquier producto derivado del almidón cuya preparación involucre la modificación de una o más propiedades del mismo, producto de la transformación

de su estructura básica; mientras que Rogols (1986) señala que la modificación de almidones nativos involucra un cambio en la forma física, una degradación controlada y/o la introducción de un grupo químico.

Los almidones pueden ser modificados por diferentes vías, bien sea físicas, químicas o biológicas; sin embargo, en la industria de alimentos los principales esquemas de modificación de almidones están fundamentados solo en los principios físicos y químicos (Boruch, 1985; Rogols, 1986; Wurzburg, 1986; Kim y col., 1993; Parovuori y col., 1995; Whistler y BeMiller, 1997).

La mayoría de estas modificaciones han surgido con propósitos muy específicos, como por ejemplo: i) atribuir propiedades funcionales a los productos donde serán utilizados, que no son conferidas por los almidones nativos, tales como tolerar ciclos de congelación y descongelación, impartir diversos grados de viscosidad y ser resistentes a condiciones ácidas, entre otros; ii) los almidones modificados son abundantes y fácilmente disponibles; y iii) son más económicos que las gomas o hidrocoloides (Moorthy, 2002; Kaur y col., 2004; Amani y col., 2005; Schmitz y col., 2006; Shujun y col., 2008).

#### **4.2.- Modificación Física**

La modificación física generalmente conduce a la pregelatinización del almidón, proceso en el cual los gránulos de almidón nativo se rompen, incrementando su capacidad de solubilizarse en agua fría, lo que permite su

empleo en alimentos de rápida preparación, tales como flanes, rellenos y salsas, entre otros (Colonna y col., 1984; González y Pérez, 2003)

Entre los métodos de pregelatinización más utilizados para la modificación física de almidones nativos, se encuentran la deshidratación por tambores rotatorios (“drum dryer”), la deshidratación por rociado (“spray dryer”), la extrusión, la irradiación (gamma y microondas), la pirodextrinización y el acomplejamiento físico de proteínas, grasas y fosfatos con los gránulos de almidón (Colonna y col., 1984; Light, 1990; Thomas y Atwell, 1999; Moorthy, 2002).

Estos métodos se fundamentan en el uso de calor seco o húmedo, con o sin acomplejamiento, a fin de producir cambios en los diferentes niveles de organización estructural del almidón (molecular, cristalino y granular), para modificar sus propiedades funcionales (Pérez, 1996; Raja y Prasanna, 2000; Gunaratne y Hoover, 2002).

Los tratamientos térmicos empleados para generar modificaciones físicas pueden efectuarse a bajos o elevados contenidos de humedad, ya que la cantidad de agua empleada en los tratamientos calóricos se puede modificar para producir diferentes efectos. Por ejemplo, si se utilizan tratamientos térmicos en exceso de agua, durante un largo período de tiempo y por debajo de la temperatura de gelatinización, se logra reducir drásticamente la viscosidad de la suspensión de almidón. En cambio, si el almidón es sujeto a tratamientos térmicos con valores de

humedad menores al 30%, los efectos que se observan son menos pronunciados (Zobel, 1988; Cooke y Gidley, 1992; Stute, 1992).

Los tratamientos calóricos húmedos provocan cambios en la estructura cristalina de los almidones, ya que los hacen más susceptibles a la hidrólisis o modificaciones químicas y enzimáticas. Estos cambios ocurren principalmente a nivel de las regiones amorfas donde se encuentran ubicadas las moléculas de amilosa; por lo tanto, la sensibilidad de los diversos tipos de almidón a estos tratamientos es diferente, y depende principalmente de su contenido en amilosa (Howling, 1980; Mestres, 1996; Zhang y col., 2005; Mali y col., 2005; Martínez y col., 2005).

Entre las técnicas de modificación física, la extrusión es una de las más utilizadas, en la cual se logra la pre-gelatinización del almidón utilizando energía térmica y mecánica, bajo condiciones de procesamiento estrictamente controladas, para adecuar el proceso de gelatinización de almidón. El grado de gelatinización durante el proceso de extrusión está determinado por el contenido de humedad, la temperatura, la velocidad del tornillo y la forma y tamaño del dado. (Hoover y Vasanthan, 1994; Vasanthan y col., 2001; Leonel y col., 2006).

El proceso de extrusión efectuado a bajos contenidos de humedad, con valores cercanos al 20%, permite mejorar el proceso de gelatinización, porque la elevada fuerza de corte que se genera en el tornillo producto del bajo contenido de humedad, incrementa la generación de calor y la disrupción de los gránulos de

almidón. Aunado a esto, los almidones extruidos a 20% de humedad, muestran su máxima digestibilidad *in vitro* (Roussel y col., 1991).

En cambio, el calentamiento de las suspensiones de almidón con microondas provoca la fricción molecular ocasionada por una polarización de las moléculas bipolares que son forzadas a oscilar para mantener su orientación con relación al campo eléctrico suministrado, el cual oscila millones de veces por segundo. Es de hacer notar, que este tipo de modificación es cada vez más frecuente en alimentos, básicamente por las ventajas que ofrece, tales como: rápido calentamiento, mejor control del proceso y reducción de los costos energéticos (Lewandowicz y col., 1997; González y Pérez, 2003; Bondaruk y col., 2007).

Pérez (1994), modificó almidones de cereales (maíz, arroz, trigo y amaranto), leguminosas (lentejas y canavalia), raíces y tubérculos (yuca, zulú y sagú) por irradiación microondas. Lewandowicz y col. (1997), usando irradiación microondas, prepararon un almidón de papa fosfatado de grado alimenticio, quienes compararon el calentamiento convencional usado en la metodología para obtener almidón fosfatado y la irradiación microondas, encontrando que es factible y fácil de usar, pero induce a un cierto grado de degradación del almidón que debe ser mejorada. González y Pérez (2003) también evaluaron las propiedades fisicoquímicas y funcionales de almidón de yuca pregelatinizado y calentado con microondas.

En cuanto a los almidones sometidos a tratamientos con presión de vapor, éstos generalmente reducen considerablemente su capacidad de generar viscosidad, y esta reducción se incrementa a medida que aumenta el tiempo de exposición. (Colonna y col., 1984; Moorthy, 2002; Martínez y col., 2005).

#### **4.3.- Modificación Química**

Las modificaciones químicas provocan cambios significativos en las propiedades funcionales del almidón, y generalmente se realizan en un medio acuoso, donde una suspensión de almidón, usualmente con un 30 a 40% de sólidos, se trata con el reactivo químico bajo condiciones apropiadas de agitación, temperatura y pH. Cuando la reacción se completa, el almidón se lleva al pH deseado con un agente neutralizante, se purifica por subsecuentes lavados con agua y se seca hasta obtener el almidón deshidratado (Vian, 1994; Thomas y Atwell, 1999; Kaur y col., 2004).

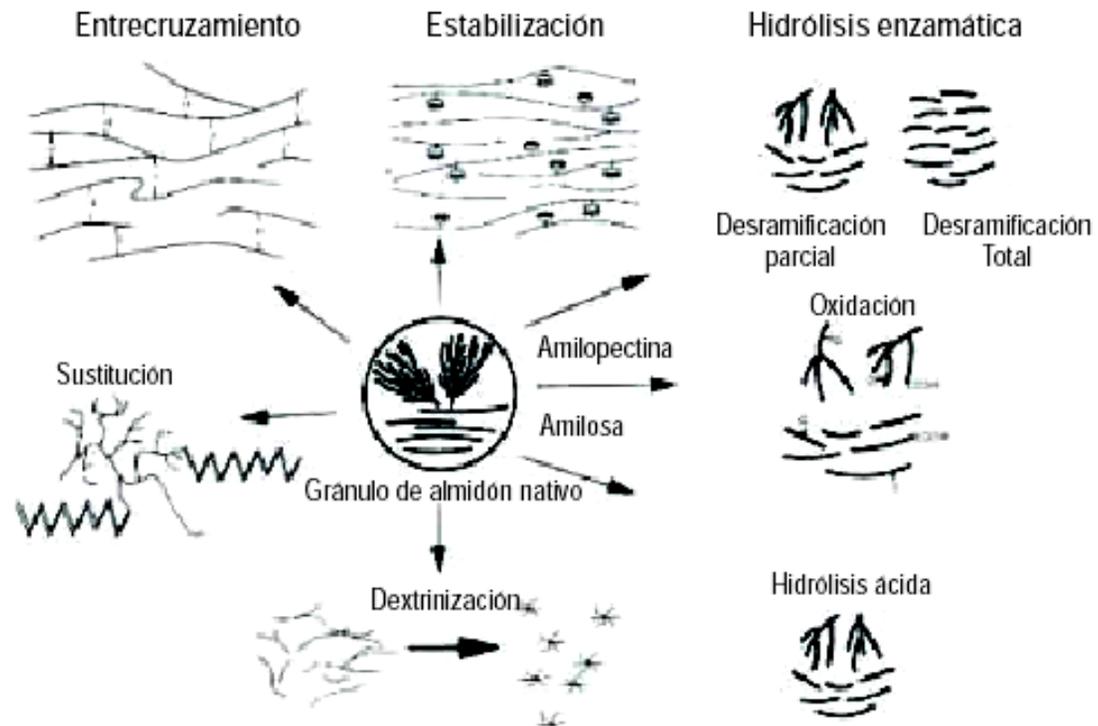
Belitz y Grosch (1985); Bemiller (1997) y Schmitz y col. (2006), señalan que las modificaciones químicas pueden ser: monofuncionales (uso de anhídrido acético, enlaces éster, éter y óxido de propileno); polifuncionales (utilizando oxiclورو de fósforo, grupos éster, grupos éter y epiclورhidrina); por doble derivación (por ejemplo, empleando anhídrido acético más oxiclورو de fósforo); oxidativas (oxidación con hipoclorito de sodio por formación de grupos carboxilos y carbonilos a expensas del grupo hidroxilo) e hidrolíticas (hidrólisis ácidas para el acortamiento de las cadenas).

Sin embargo, Wurzburg (1986); Light (1990) y Thomas y Atwell (1999), clasifican las técnicas de modificación química de almidón en dos grandes categorías: las de conversión o degradación (hidrólisis, oxidación, dextrinización, conversión enzimática) y las de derivación o sustitución (entrecruzamiento, estabilización, adición de grupos funcionales) (Figura 8).

#### **4.3.1.- Modificación química por conversión o degradación.**

Este proceso consiste en la degradación o depolimerización de las moléculas de almidón provocando la escisión de algunos enlaces glucosídicos, y dependiendo del método utilizado para la modificación, pueden incluirse alteraciones químicas, tales como la oxidación de algunos de los grupos hidroxilo, aldehídos, cetonas y carbonilos. Esta técnica tiene como objetivos: i) reducir la viscosidad de los productos, para que con altas concentraciones de almidón, la suspensión tenga buenas propiedades de flujo; ii) incrementar la solubilidad en agua fría; iii) controlar la fuerza del gel y iv) otorgar estabilidad a las suspensiones de almidón (Wang y col., 2003; Taggart, 2004; Singh y col., 2007).

Liu y col. (1999); Perera y Hoover (1999); Olayide (2004); Shujun y col., 2007; indican que los métodos más comunes de conversión utilizados en la industria de alimentos incluyen la hidrólisis ácida, la oxidación y la conversión enzimática; éstos modifican las propiedades morfológicas, cristalinas y de gelatinización, afectando las temperaturas de transición y las entalpías de gelatinización, así como las propiedades viscoelásticas del almidón modificado.



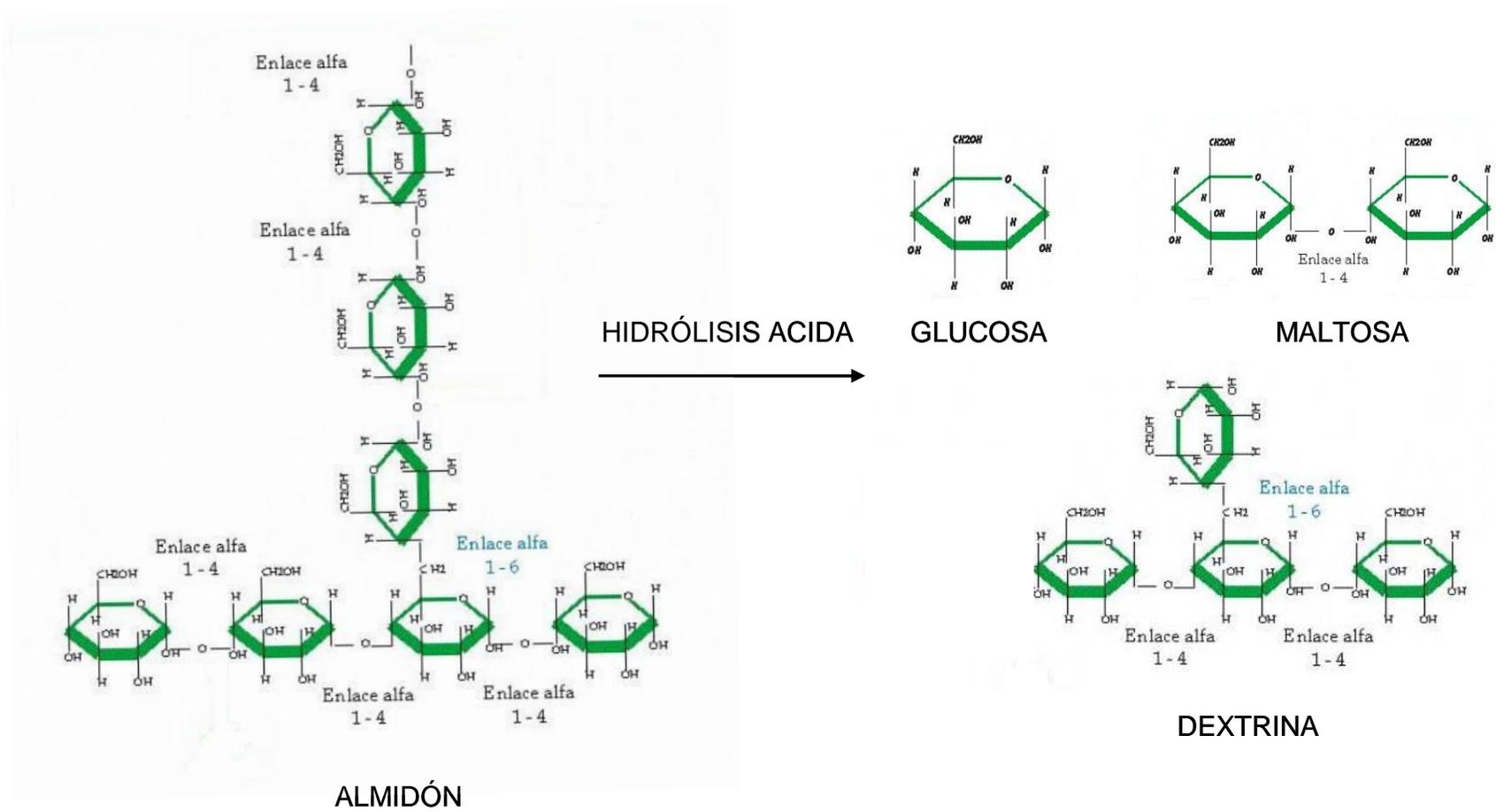
**Figura 8.** Modificaciones químicas del almidón (Taggart, 2004)

#### **4.3.1.1.- Hidrólisis ácida.**

Entre los métodos de modificación química de almidones, mencionados anteriormente, la técnica de la hidrólisis ácida es una de las más utilizadas en la industria de obtención de almidones modificados, destinados a la industria de alimentos, papelera y textil (Coultate, 1998; Sitohy y col., 2000; Wang y col., 2003).

El procedimiento tradicional para obtener almidones por modificación ácida consiste, en términos generales, en tratar una suspensión concentrada de almidón a una temperatura menor que la temperatura de gelatinización, con soluciones diluidas de un ácido mineral (HCl ó  $H_2SO_4$ ) durante cierto período de tiempo, provocando modificaciones superficiales que debilitan la estructura de los gránulos de almidón (Wurzberg, 1986; Wang y col., 2007).

En la hidrólisis ácida, los enlaces glucosídicos  $\alpha(1-4)$  y  $\alpha(1-6)$  que mantienen unidas a las moléculas de anhidro D-glucosa, se rompen al azar, con formación intermedia de maltosa (disacárido constituido por dos unidades de glucosa) y dextrinas (polímeros de glucosa solubles en agua); para su conversión final, dependiendo el grado de hidrólisis, en moléculas de D- glucosa (Beyer y col., 1987; Jury y col., 1994; Coultate, 1998). (Figura 9).

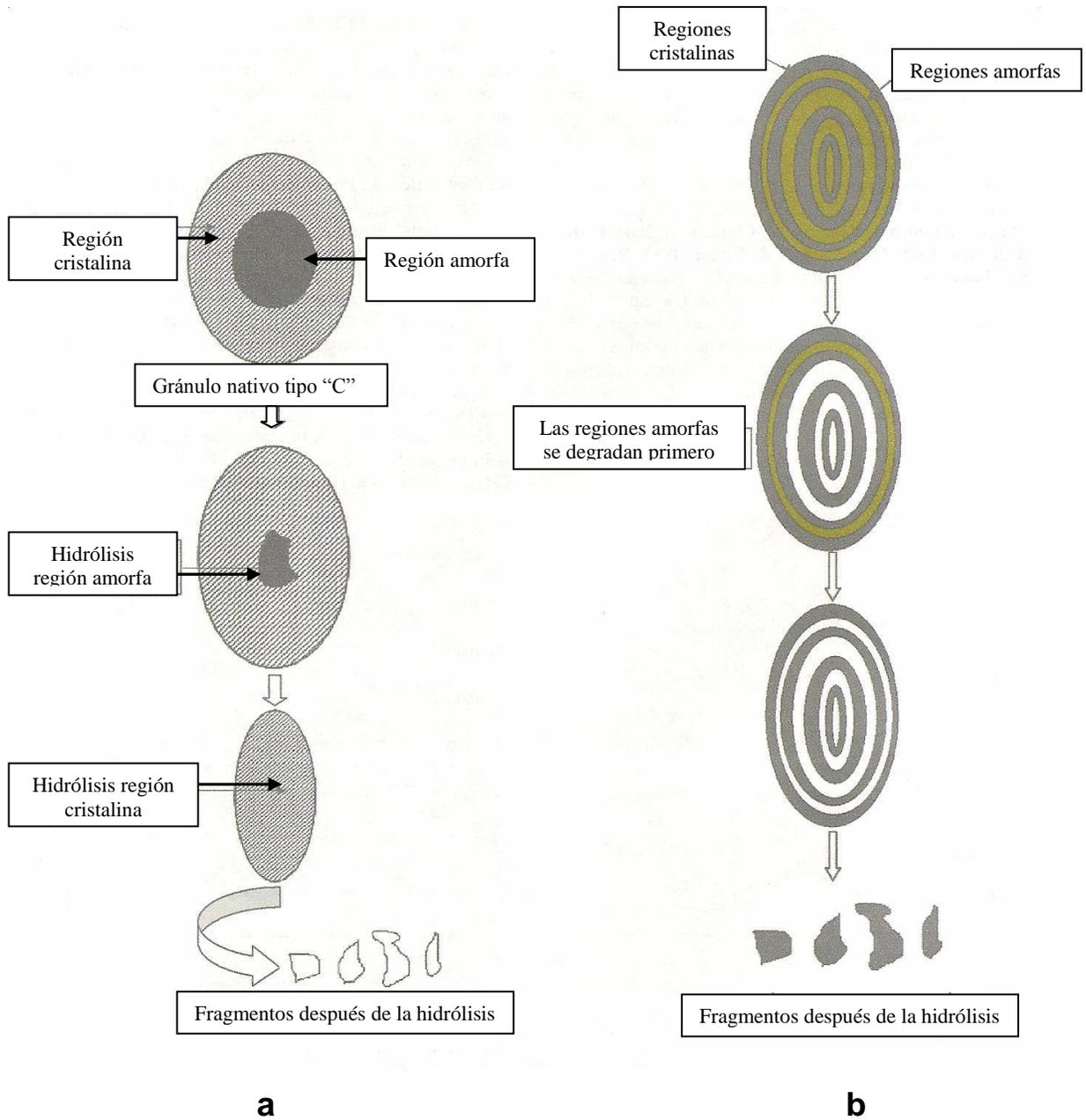


**Figura 9.** Modificación química de la molécula de almidón por hidrólisis ácida (Beyer, 1987).

El proceso de hidrólisis en almidones con polimorfismo del tipo “C” (característico de los almidones de ñame), se inicia en las regiones amorfas, localizadas principalmente en el interior de los gránulos (Figura 10a) o distribuidas alternadamente en las regiones cristalinas (Figura 10b). Las regiones amorfas pueden ser degradadas completamente, y una vez que esto ocurre se inicia la degradación o hidrólisis de las regiones cristalinas (Cairns y col., 1997; Shujun y col., 2007).

La modificación por hidrólisis ácida de almidones de ñame (*D. esculenta* y *D. alata*) fue evaluada por Jayakody y Hoover (2000). Los resultados obtenidos indican que el proceso de modificación no exhibía el patrón bifásico típico, caracterizado por una tasa de hidrólisis inicial rápida, debido a la degradación de las zonas amorfas; seguida de una hidrólisis lenta, atribuida a la degradación de las regiones cristalinas. Por el contrario, en cada uno de los almidones evaluados solamente fueron degradadas las regiones amorfas, producto del alto grado de cristalinidad presente en estos gránulos (43 a 50%).

Asimismo, Wang y col. (2007), al estudiar los cambios morfológicos y cristalinos que ocurrían durante la hidrólisis ácida de almidones de *D. bulbifera*, determinaron que en la primera fase de la hidrólisis, la mayoría de los gránulos de almidón analizados se encontraban intactos, ya que solamente habían experimentado algunos cambios en su forma y presentaban una superficie pegajosa; mientras que la ruptura de los gránulos de almidón ocurría en la última



**Figura 10.** Hidrólisis ácida de gránulos de almidón que muestran el polimorfismo del tipo "C" (Shujun y col., 2008).

fase, luego de 16 días de hidrólisis. Este fenómeno, según los investigadores, demuestra que las regiones amorfas se localizan principalmente en el centro de los gránulos, mientras que las regiones cristalinas, se ubican en las capas más externas.

Atichokudomchai y col. (2000), al evaluar el efecto de la modificación ácida sobre almidones de yuca, determinaron que el grado de cristalinidad de los gránulos aumentaba rápidamente a medida que se incrementaba el tiempo de hidrólisis, producto de la disminución en el contenido de amilosa, ya que dichas moléculas se ubican principalmente en la superficie de los gránulos. Sin embargo, la hidrólisis de las moléculas de amilopectina solamente ocurría una vez hidrolizadas todas las moléculas de amilosa.

Los almidones modificados por hidrólisis ácida muestran elevadas temperaturas de gelatinización, una rápida cocción, baja viscosidad de la pasta en caliente, geles con buenas características al enfriar y pastas mucho más claras (Wang y Wang, 2001; Olayide, 2004; Lawal y col., 2005).

En la industria alimenticia, son utilizados principalmente en la fabricación de caramelos de goma; ya que la baja viscosidad que desarrollan estos almidones, aún a elevadas temperaturas, permite su fácil manejo en caliente, formando un gel firme al enfriarse (Jenkins y Donald, 1997; Shujun y col., 2008).

#### 4.3.1.2.- Oxidación.

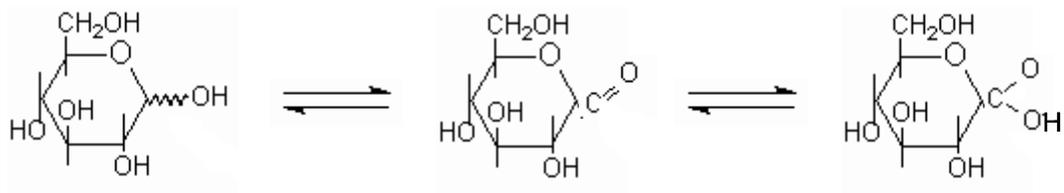
Los almidones oxidados se obtienen mediante el tratamiento de almidones nativos con ácido peracético, peróxido de hidrógeno, hipoclorito de sodio, clorito de sodio, dióxido de azufre, permanganato de potasio o persulfato de amonio, a temperatura y pH controlados. No obstante, la oxidación con hipoclorito es el método más común para producir almidones oxidados a nivel comercial (Badui, 1993; Adebowale y Lawal, 2003, Shujun y col., 2008).

La oxidación del almidón implica la introducción de grupos carbonilo y grupos carboxilo en las unidades de glucosa, dentro de la matriz del polímero. Los grupos hidroxilos ( $\text{OH}^-$ ) en las moléculas de almidón son oxidados primero a grupos carbonilo ( $\text{C}=\text{O}$ ) y luego a grupos carboxilo ( $\text{COOH}$ ) (Figura 11), éstos últimos son productos primarios de la reacción de oxidación (Wang y Wang, 2003; Sangseethong y col., 2005).

El grado de oxidación se mide por la existencia de grupos carbonilo y carboxilo; en medio ácido se favorece la formación de grupos carbonilo, mientras que en medio alcalino se favorecen los grupos carboxílicos (Kvasnicka y col., 1984; Rutenberg y Solarek, 1994; Rincón y col., 2007).

La presencia de los grupos carbonilo y carboxilo provoca una disminución en los valores de temperatura de gelatinización, debido a que estos grupos funcionales le imparten al almidón oxidado una mayor afinidad por el agua, razón

por la cual los granos de almidón son capaces de hincharse de forma irreversible a una temperatura más baja, además la modificación por oxidación debilita la estructura interna de los gránulos, haciéndolos más susceptibles al hinchamiento (Rincón y col., 2007)



**Figura 11.** Representación del proceso de oxidación que experimentan las moléculas de glucosa, una vez que el almidón ha sido hidrolizado (Sangseethong y col., 2005).

Además, como la oxidación se lleva a cabo en medios ácidos o alcalinos, se produce la hidrólisis parcial del almidón (ruptura de enlaces glucosídicos), principalmente en las zonas amorfas del gránulo; provocando la depolimerización o disminución del peso molecular, que trae como consecuencia el descenso en la viscosidad de las suspensiones, el incremento en la transparencia de los geles, aumento del poder hidrofílico y disminución del grado de retrogradación (Díaz y Carreras, 1993; Parovuori y col., 1995; Kuakpetoon y Wang, 2001; Lawal, 2004).

Los almidones oxidados se usan en las industrias alimentaria, del papel, textil y farmacéutica. Se utilizan en panadería para cubiertas de varios alimentos,

en confitería como enlazantes y formadores de películas, y en lácteos como texturizantes (Rogols, 1986; Díaz y Carreras, 1993, Wang y Wang, 2003; Sánchez y col., 2005; Rivas y col., 2008; Shujun y col., 2008).

#### **4.3.2.-** Modificación química por derivación o sustitución.

Consiste en incorporar grupos químicos a las unidades de glucosa, los cuales van a sustituir a los grupos hidroxilo. Las propiedades del almidón derivado dependen de la naturaleza de la derivación y del grado de sustitución. Cuando el grado de sustitución es bajo (hasta 0,1 moles de grupos incorporados por mol de glucosa), los grupos sustituyentes rompen la linealidad de la molécula donde son incorporados, disminuyendo su tendencia a asociarse, previniendo la retrogradación. Sin embargo, elevados niveles de sustitución (desde 0,8 hasta 1 moles) hacen a los almidones solubles en agua fría (Wurzburg, 1986; Rutenberg y Solarek, 1994).

La modificación química por derivación incluye el entrecruzamiento (“crosslinked”), la estabilización y la incorporación de grupos funcionales (Light, 1990; Thomas y Atwell, 1999; Taggart, 2004).

##### **4.3.2.1.-** *Almidones entrecruzados.*

El entrecruzamiento es un proceso que consiste en suspender el almidón en un medio acuoso y alcalino, con un agente químico polifuncional, el cual permite la

formación de enlaces intermoleculares entre los grupos hidroxilo de moléculas de almidón adyacentes, otorgando estabilidad y fuerza al gránulo (Hoover y Sosulski, 1986; Wurzburg, 1986; Thomas y Atwell, 1999; Acquarone y Rao, 2003).

Los agentes químicos más utilizados para producir almidones entrecruzados grado alimentario son: trimetafosfato de sodio (Figura 12a), fosfato monosódico, tripolifosfato de sodio, epíclorohidrina (Figura 12b), oxícloruro de fósforo (Figura 12c), mezclas de anhídrido acético y adipato y vinil cloruro. La temperatura de reacción se encuentra entre los 25 y 30°C, mientras que el tiempo requerido para el proceso de entrecruzamiento puede variar desde 24 hasta 30 horas (Light, 1990; Yeh y Yeh, 1993; Woo y Seib, 1997; Wattanchant y col., 2003).

El objetivo del entrecruzamiento es reforzar los puentes de hidrógeno responsables de la integridad del gránulo, con puentes químicos enlazados a los grupos hidroxilo de otras moléculas de almidón adyacentes; así se minimiza y evita la ruptura de los gránulos de almidón por efecto del calentamiento, permitiendo que los geles formados tengan una mejor cohesividad y una buena textura (Wu y Seib, 1990; Yook y col., 1993; Thomas y Atwell, 1999; Shiftan y col., 2000).

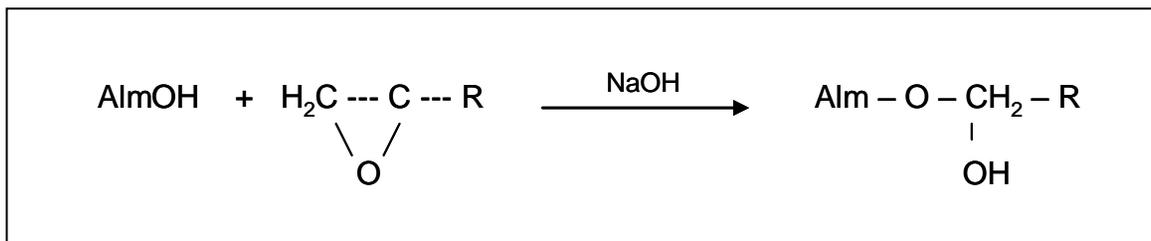
Por lo tanto, con el entrecruzamiento pueden obtenerse almidones resistentes a altas temperaturas, agitación constante y condiciones extremas de acidez, con escasa tendencia al hinchamiento, que carecen de un pico de viscosidad pronunciado, pero que muestran un lento y progresivo incremento de la



Los almidones entrecruzados son de especial interés en alimentos enlatados y congelados, sobre todo si en éstos últimos el tratamiento se combina con esterificación. Además son utilizados en panificación, para dar estructura y disminuir la actividad de agua de la masa, con lo cual aumenta la vida útil del producto final y se produce un mayor rendimiento en el batido (Light, 1990; Yook y col., 1993; Acquarone y Rao, 2003; Singh y col., 2007)

#### 4.3.2.2.- Almidones estabilizados o eterificados.

La eterificación es uno de los tipos de derivación más utilizadas, y ésta consiste en hacer reaccionar una suspensión de almidón al 30 a 40%, con óxido de etileno o de propileno, en presencia de hidróxidos alcalinos o alcalinotérreos, lo cual conduce a la formación de los derivados hidroxietil e hidroxipropil, respectivamente (Figura 13) (Belitz y Grosch, 1985; Perera y Hoover, 1999; Schmitz y col., 2006).



**Figura 13.** Reacción química requerida para la formación de almidones (Alm) eterificados, tratados con óxidos de alquilenos (Yeh y Yeh, 1993; Singh y col., 2007).

Los grupos hidroxialquilo incorporados a la cadena son capaces de romper los puentes de hidrógeno inter e intramoleculares, debilitando la estructura interna del gránulo, permitiendo así una mayor movilidad de las cadenas, principalmente en las regiones amorfas (Wooton y Manatsathit, 1983; Seow y Thevamalar, 1993).

La modificación por eterificación, en combinación con reacciones de entrecruzamiento, mejora la capacidad de hinchamiento y la solubilidad, disminuye la temperatura de gelatinización e incrementa la estabilidad frente a la congelación y la descongelación de soluciones viscosas (Rutenberg y Solarek, 1994; Shi y BeMiller, 2000; Pal y col., 2002).

Los almidones eterificados e hidroxipropilados presentan una mayor capacidad de retención de agua, debido a un mayor número de enlaces intermoleculares establecidos entre las moléculas de agua y las macromoléculas de almidón, y aunque esta es una ventaja, existen restricciones en la producción de este tipo de almidones, debido a que el compuesto utilizado en la sustitución, óxido de propileno, es de riesgosa manipulación (Thomas y Atwell, 1999; Schmitz y col., 2006).

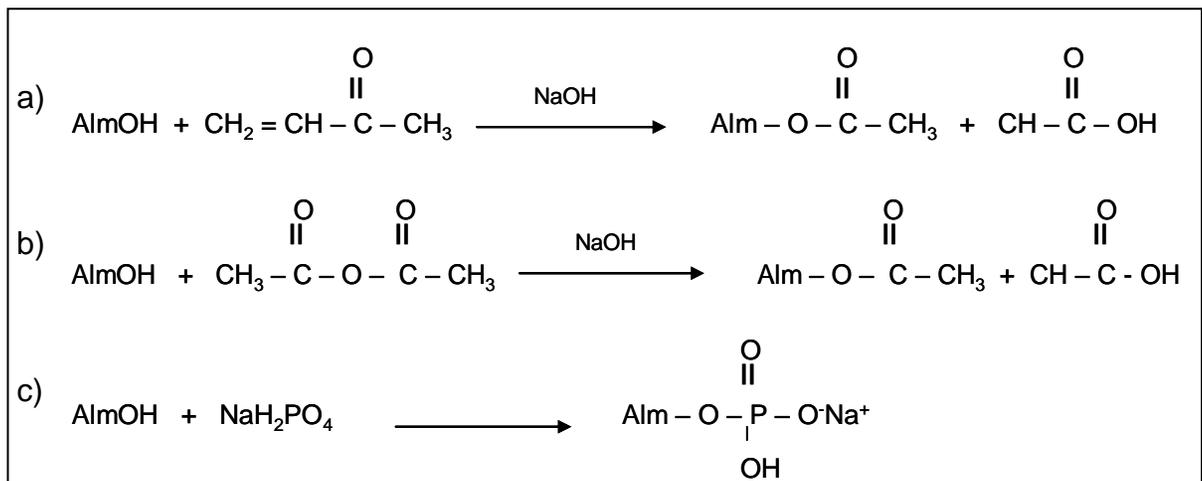
Para determinar el efecto de la hidroxipropilación sobre las propiedades funcionales de los almidones, Schmitz y col. (2006) evaluaron almidones modificados de yuca, mientras que Perera y Hoover (1999) estudiaron almidones modificados de papa. En lo que se refiere a los almidones hidroxipropilados de yuca, éstos fueron capaces de desarrollar valores de viscosidad superiores a sus

respectivos almidones nativos; mientras que los almidones eterificados de papa, experimentaron un menor grado de retrogradación que su correspondiente almidón nativo. Además, al estudiar el comportamiento de las suspensiones de almidones de papa, durante ciclos de congelamiento y descongelamiento, el almidón nativo fue el que presentó una mayor tendencia a la pérdida de agua o sinéresis.

Este tipo de almidones modificados están por tanto, especialmente indicados como agentes espesantes en alimentos congelados y en conservas esterilizadas térmicamente. Han sido ampliamente utilizados como espesantes y estabilizantes en gran diversidad de productos alimenticios, tales como bebidas, salsas, rellenos para tortas y pudines (Seow y Thevamalar, 1993; Liu y col., 1999; Aguirre, 2007; Singh y col., 2007).

#### **4.3.2.3.- Almidones esterificados.**

Los almidones pueden ser esterificados utilizando diferentes tipos de ácidos inorgánicos y orgánicos. Los nitro-almidones, utilizados como explosivos, se obtienen con el ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ); no obstante con ácidos fosfóricos y fosfatos alcalinos, así como con los ácidos acético, succínico, adípico, cítrico o con derivados como el acetato de vinilo se obtiene un variado número de ésteres de almidón (Figura 14), (Wooton y Manatsathit, 1983; Biliaderis, 1992 y Rutenberg y Solarek, 1994).



**Figura 14.** Reacciones químicas requeridas para la formación de almidones (Alm) esterificados, tratados con vinil acetato (a), anhídrido acético (b) y ortofosfato (c) (Singh y col., 2007).

En presencia de ortofosfato se produce almidón fosfato monoéster, a valores de pH entre 5,0 y 6,5, en un tiempo que va desde 30 minutos a 6 horas, a una temperatura de 120-160°C. Sin embargo, cuando se utiliza tripolifosfato de sodio, la reacción ocurre en condiciones alcalinas, con valores de pH entre 8,5 y 9,0; y a temperaturas comprendidas entre 100 y 120°C (Seow y Thevalamar, 1993; Liu y col., 1998).

La fosfatación es uno de los métodos de modificación por esterificación más utilizado, ya que a través de éste se produce una repulsión entre las cadenas adyacentes del almidón, causada por la introducción de grupos fosfato con carga negativa, los cuales provocan una reducción en el número de asociaciones entre

las cadenas de almidón y un aumento en la capacidad de hidratación (Biliaderis, 1992; Lim y Seib, 1993; Sívoli y col., 2005).

Sitohy y col. (2000), al preparar almidones fosfatados a diferentes grados de sustitución, utilizando ortofosfato de sodio mono y dihidrogenado a 160°C, a partir de almidones de maíz, arroz y papa, determinaron que en todos los tipos de almidones analizados, los valores de solubilidad, poder de hinchamiento y viscosidad se incrementaban considerablemente a bajos niveles de sustitución, mientras que dichas propiedades disminuyeron gradualmente al incrementar el grado o porcentaje de sustitución.

La capacidad espesante de los ésteres de almidón es mayor que la del almidón nativo, presentan una excelente estabilidad frente a la congelación, y son utilizados como agentes espesantes y estabilizantes en alimentos, como productos de panadería, sopas, salsas, postres, margarinas, congelados y conservas. Además, también están indicados en recubrimientos protectores de frutas desecadas o para el encapsulamientos de compuestos de aroma (Liu y col., 1998; Chen y col., 2004; Singh y col., 2007).

#### **4.3.3.- Almidones Granulares Solubles en Agua Fría (AGSAF)**

Los almidones granulares solubles en agua fría se pueden producir por tratamiento del almidón en una solución acuosa de alcohol, a elevadas temperaturas y altas presiones (Eastman y Moore, 1984), mediante un proceso de

secado por aspersión en un sistema de doble boquilla (Pitchon y col.,1981) o por un tratamiento alcohólico-alcálico (Chen y Jane, 1994a), el cual es eficaz con una gran variedad de almidones, resultando en suspensiones con viscosidades más altas y una mejor estabilidad al congelamiento-deshielo (Chen y Jane, 1994b; Bello y col., 2002).

Los tratamientos alcohólicos-alcálicos, e incluso alcohólicos-ácidos, provocan la ruptura de los enlaces glucosídicos que mantienen unidas a las moléculas de glucosa en las cadenas de almidón. Por lo tanto, permiten una máxima conversión del almidón nativo en almidón completamente soluble, con una producción mínima de dextrinas de bajo peso molecular (Robyt y col., 1996; Chang y col., 2004)

Chun y col. (1997) y Chang y col. (2004), al estudiar almidones de arroz y maíz céreo, respectivamente, demostraron que después de someterlos a tratamientos con etanol, ambos tipos de almidón experimentaban disminución en el peso molecular de la fracción amilopectina, provocando una drástica disminución en los valores de DP, principalmente en aquellos almidones tratados con 90% de etanol.

Por su parte, Ma y Robyt (1987), demostraron que al tratar almidones de papa y maíz con diferentes alcoholes anhidros (metanol, etanol, 2-propanol y butanol) se obtenían almidones modificados con diferentes grados de polimerización (DP), ya que el peso molecular disminuía progresivamente a

medida que los almidones se trataban con un alcohol de mayor peso molecular (metanol > etanol > 2 propanol > butanol).

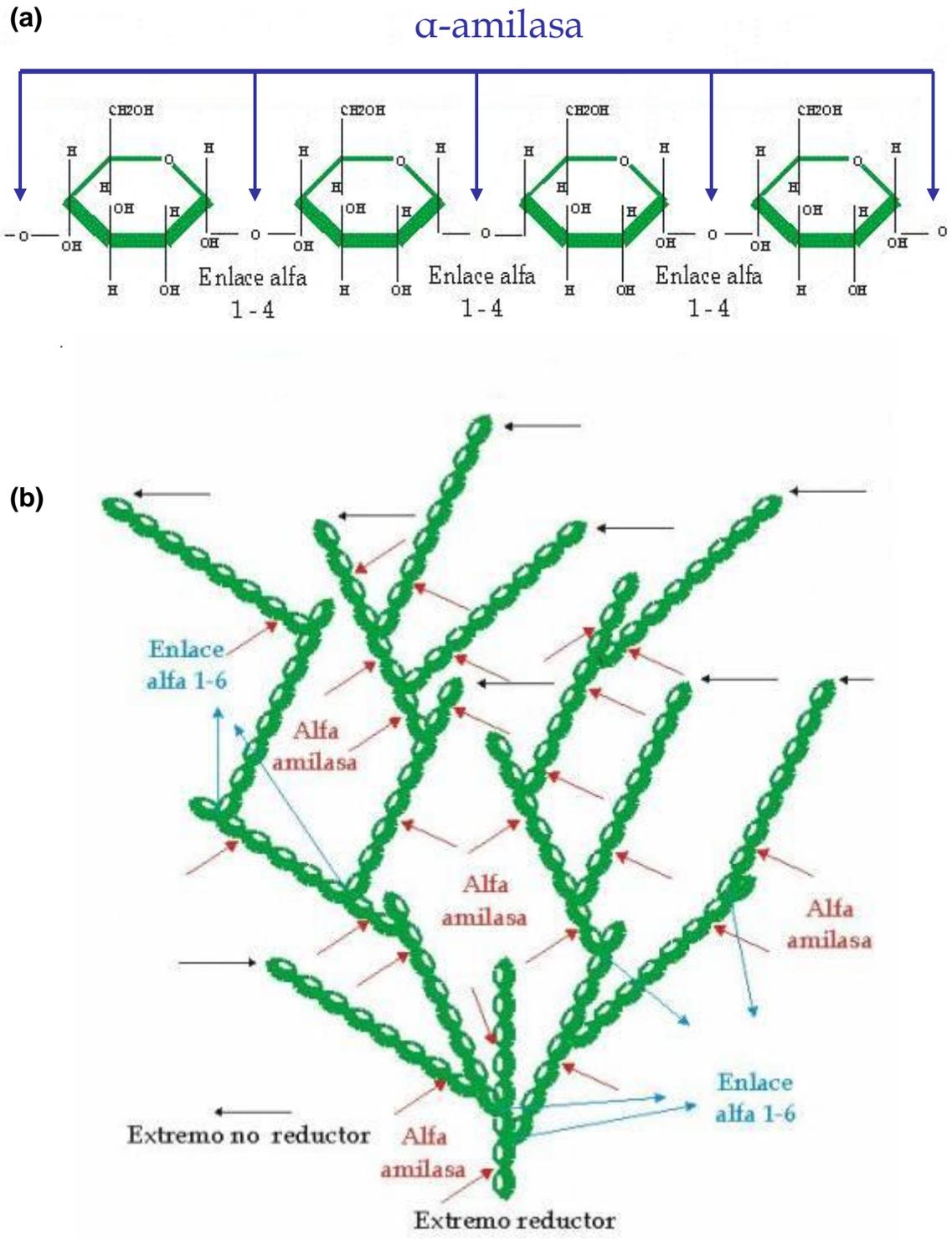
Los almidones granulares solubles en agua fría confieren propiedades funcionales importantes a muchos alimentos instantáneos, tales como una mayor viscosidad, textura suave y propiedades similares a la de los almidones pre-gelatinizados (Bello y col., 2002; Chang y col., 2004).

## **5.- HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA Y DIGESTIBILIDAD DEL ALMIDÓN.**

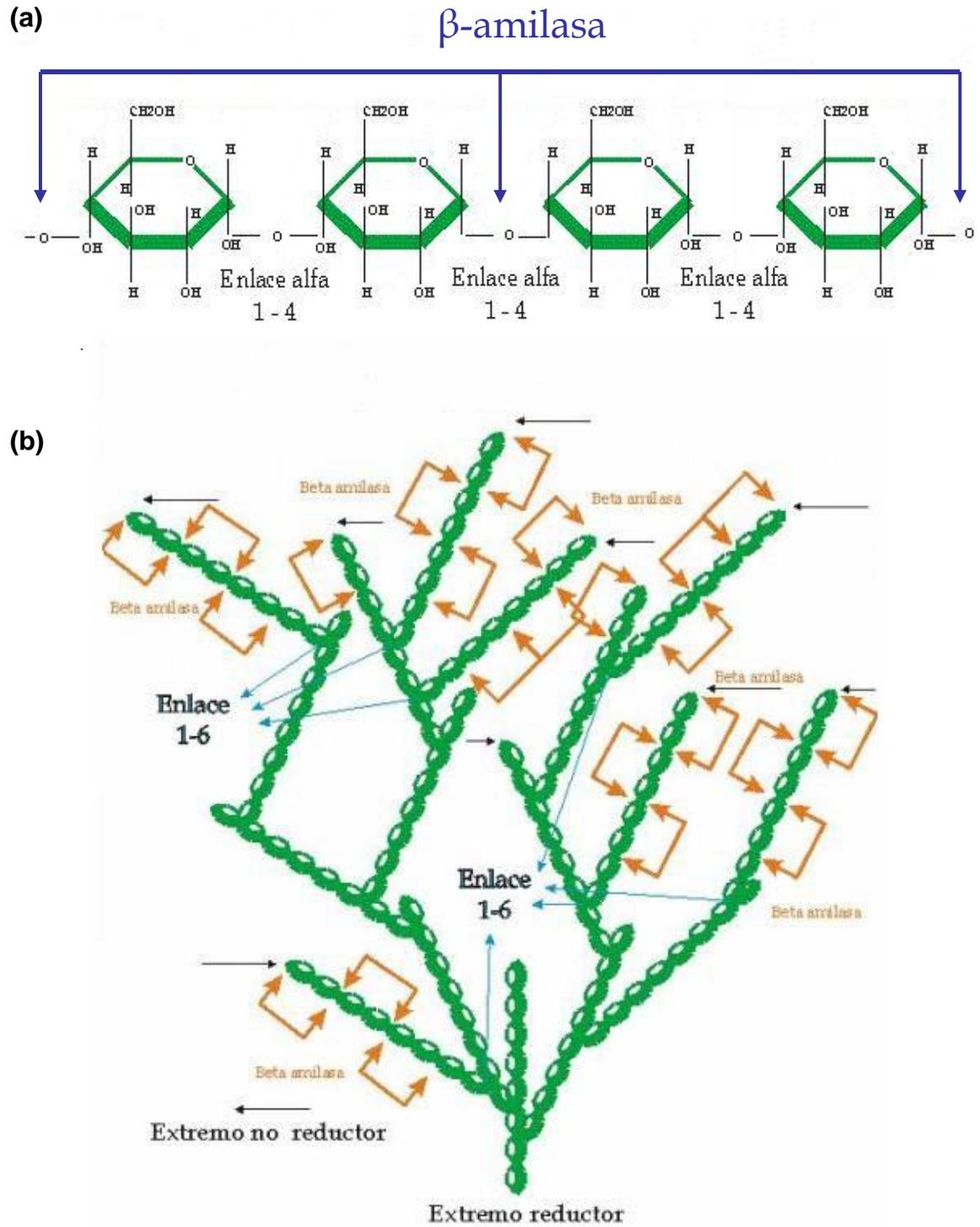
La conversión enzimática del almidón en sus respectivos azúcares es llevada a cabo por un grupo de enzimas hidrolíticas conocidas como amilasas o glicosidasas, entre las cuales se encuentran la  $\alpha$ -amilasa,  $\beta$ -amilasa y amiloglucosidasa (Holm y col., 1988; Badui, 1993; Coultate, 1998).

Las  $\alpha$ -amilasas (E.C.3.2.1.1; 1,4- $\alpha$ -D-glucano-glucanohidrolasa) son endoglucanasas, que hidrolizan los enlaces glucosídicos  $\alpha$ 1-4 al azar, es decir, en cualquier punto a lo largo de las cadenas de almidón, separándolo en glucosa, maltosa y dextrinas (Figura 15). En fisiología humana, éstas se encuentran en la saliva y en el páncreas (Lee y col., 1985; Muir y O`Dea, 1992; Kumar y col., 2001; Liu, 2002).

La  $\beta$ -amilasa (E.C.3.2.1.2; 1,4- $\alpha$ -D-glucano-maltohidrolasa) es sintetizada por



**Figura 15.** Mecanismo de acción de la enzima  $\alpha$ -amilasa sobre las fracciones de amilosa (a) y de amilopectina (b) (Coultate, 1998).



**Figura 16.** Mecanismo de acción de la enzima  $\beta$ -amilasa sobre las fracciones de amilosa (a) y de amilopectina (b) (Coultate, 1998).

bacterias, hongos y plantas. Por ser una exoglucanasa actúa desde los extremos no reductores de las cadenas de amilosa y amilopectina, catalizando la hidrólisis de los enlace glucosídico  $\alpha$ 1-4, pero rompiendo cada dos unidades de glucosa (maltosa) (Figura 16), (Claus y col., 1998; Panlasigui y col., 1991; Osorio y col., 2002).

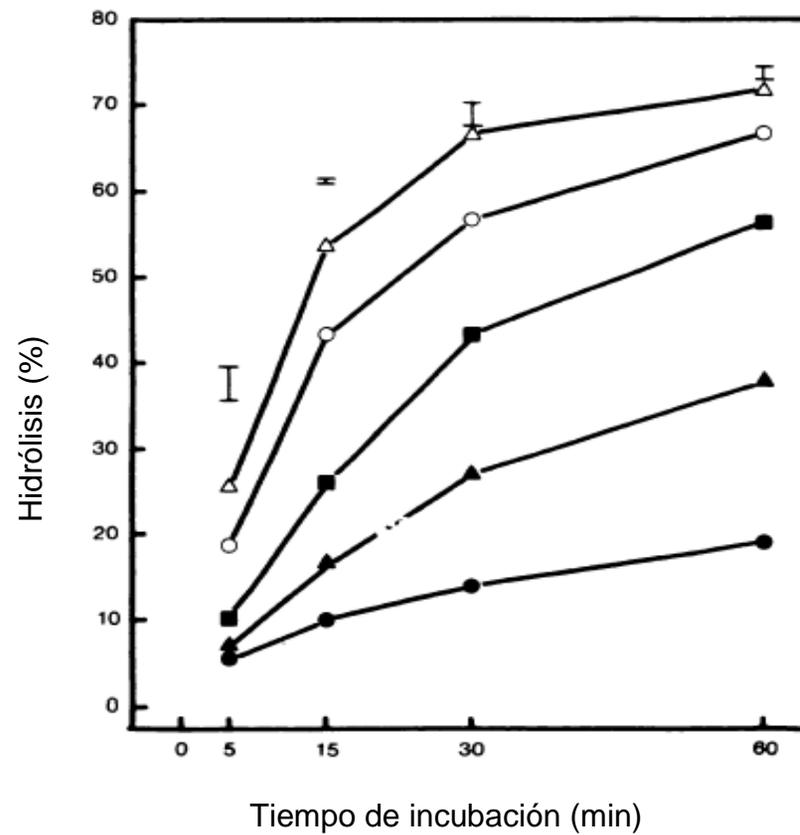
La amiloglucosidasa (E.C.3.2.1.3; glucano-1,4- $\alpha$ -glucosidasa), además de romper el último enlace glucosídico  $\alpha$ 1-4 en el extremo no reductor de las cadenas de amilosa y amilopectina, también puede hidrolizar los enlaces  $\alpha$ 1-6, liberando moléculas de glucosa; es decir, cataliza la hidrólisis de la maltosa y de las dextrinas de elevado peso molecular a glucosa (Belitz y Grosch, 1985; Claus y col., 1998; Liu, 2002).

El almidón crudo solo puede ser digerido muy lentamente por las enzimas digestivas “in vitro”, mientras que el proceso de gelatinización incrementa la susceptibilidad del mismo a la hidrólisis enzimática, producto de la ruptura y desintegración de la compacta estructura granular cristalina. Además, la respuesta glicémica “in vivo”, es significativamente mayor después de la ingestión de almidón gelatinizado. Por lo tanto, el grado de gelatinización es un factor importante en la tasa de hidrólisis y en la respuesta metabólica (Snow y O’Dea, 1981; Holm y col., 1985; Tovar y col., 1991).

Las determinantes físicas de la gelatinización y recristalización del almidón son complejas, pero son de vital importancia para el proceso de digestión del almidón, ya que operaciones tan simples como el calentamiento y el enfriamiento que ocurren durante la preparación de alimentos, pueden afectar la calidad nutricional de los alimentos amiláceos (Lee y col., 1985; Brent, 1991; Cummings y Englyst, 1995).

En base a lo expuesto anteriormente, Holm y col. (1988), evaluaron el efecto del grado de gelatinización en suspensiones de almidón de trigo, incubando las muestras con  $\alpha$ -amilasa pancreática termoestable a 95°C y amiloglucosidasa a 60°C. Las temperaturas de gelatinización empleadas fueron de 14,2; 36,9; 71,1 y 85°C, y los resultados obtenidos se presentan en la Figura 17, donde se puede observar que el almidón de trigo crudo se hidrolizó más lentamente, mientras que la susceptibilidad al ataque enzimático se incrementó con el grado de gelatinización.

No obstante, diversos investigadores han determinado que el grado de gelatinización incrementa la digestibilidad "in vitro" de suspensiones de almidón de diferentes fuentes botánicas, sometidos a la acción de  $\alpha$ -amilasa pancreática y amiloglucosidasa. Por ejemplo, Snow y O'Dea (1981), determinaron su efecto en almidones nativos de avena; Holm y col. (1988), evaluaron almidones de trigo nativos; Lee y col. (1985) estudió almidones nativos y modificados de yuca, maíz céreo y papa; Urooj y Puttraj (1999) y Liu (2002) trabajaron con almidones de



**Figura 17.** Hidrólisis del almidón con diferente grado de gelatinización por  $\alpha$  – amilasa porcina pancreática, añadida en una concentración de 200 unidades por gramo de almidón. El porcentaje de hidrólisis se expresa en términos de maltosa equivalente (Grado de gelatinización: ● 0°C (crudo); ▲ 14,2°C; ■ 36,9°C; ○ 71,1°C y △ 85°C), (Holm y col., 1988).

papa nativos; mientras que Hernández y col. (2008) evaluaron almidones nativos de papa y sagu (*Canna edulis*).

Este comportamiento se explica por el hecho de que durante el proceso de gelatinización, los puentes de hidrógeno y las fuerzas de enlace que mantienen la estructura cristalina organizada, se rompen, resultando en la pérdida del orden intragranular, favoreciendo la absorción de agua y la lixiviación de moléculas hidratadas al exterior del gránulo. De esta forma, el almidón se hace más disponible, y la digestión enzimática se incrementa al aumentar el grado de gelatinización (Englyst y Cummings, 1987; Guraya y col., 2001; Osorio y col., 2002; González y col., 2007).

La digestibilidad del almidón crudo está determinada por la interacción de muchos factores, entre los cuales se encuentran: la fuente de almidón, el tamaño del gránulo, la relación amilosa-amilopectina, el grado de asociación existente entre los componentes moleculares del almidón, el grado de cristalinidad, la longitud de la cadena de amilosa y la presencia de complejos lípido-amilosa (Hoover y Sosulski, 1986; Hoover y Manuel, 1995; Englyst y col., 1992).

En la pasada década, dos teorías acerca del proceso de digestión de los almidones fueron propuestas: i) todos los almidones, son hidrolizados y absorbidos en forma más lenta que los azúcares simples o disacáridos, ya que diversos estudios in vitro e in vivo demuestran que la forma física de los alimentos es el principal determinante de la tasa de digestión y ii) los almidones son

completamente hidrolizados y absorbidos en el intestino delgado (Snow y O`Dea, 1981; Lee y col., 1985, Jenkins y Donald, 1997).

Sin embargo, se ha determinado que la digestión del almidón en el intestino delgado es variable, y que una sustancial cantidad de almidón, dependiendo de su forma física, escapa al proceso de digestión e ingresa al colon (Englyst y col., 1992). Las razones para que ocurra una digestión incompleta del almidón está determinada por factores intrínsecos (por ejemplo, propiedades del alimento) y factores extrínsecos (por ejemplo, grado de masticación y velocidad de tránsito a través del bolo alimenticio) (Gallant y col., 1992; Cummings y Englyst, 1995; Liu y col., 1999).

La clasificación de los almidones con propósito nutricional, que se basa en los factores intrínsecos que afectan la digestibilidad, es la siguiente: i) almidón rápidamente digerible (alimentos amiláceos cocidos), ii) almidón lentamente digerible (la mayoría de los almidones crudos de cereales) y iii) almidón resistente, los cuales se clasifican en: a) físicamente inaccesible (RS1) (granos y semillas molidos parcialmente), b) gránulos resistentes (RS2) (papa cruda y cambur) y c) amilosa retrogradada (RS3) (papas cocidas, pan y cereales de desayuno almacenados bajo refrigeración o a temperatura ambiente) (Cummings y Englyst, 1995).

Con base en esta clasificación, se puede afirmar entonces que la fracción de amilosa retrogradada se convierte en almidón resistente; sin embargo, según

Ruales y Nair (1994) y Farhat y col. (2001), se deben considerar las condiciones de almacenamiento del almidón retrogradado, puesto que de estas depende la retrogradación de la fracción de amilopectina, y la conversión de la misma en las formas polimórficas A ó B. Bajos contenidos de humedad y/o altas temperaturas favorecen la aparición del polimorfismo del tipo A, mientras que elevados contenidos de humedad y/o bajas temperaturas inducen a la aparición del polimorfismo del tipo B (amilopectina retrogradada resistente a la hidrólisis enzimática).

De acuerdo a lo expuesto por Thorne y col. (1983) y Theurer (1992), la relación amilosa-amilopectina es otro factor determinante de la digestibilidad del almidón, ya que se ha demostrado que la fracción de amilopectina se digiere más rápidamente. Este comportamiento está determinado por el hecho de que la fracción de amilopectina es más ramificada y con un peso molecular más elevado, que le otorga una mayor superficie de contacto por molécula que la fracción de amilosa para la acción enzimática. En cambio, la fracción de amilosa está más enlazada por puentes de hidrógeno, haciéndola menos disponible para el ataque amilolítico que la amilopectina, que tiene más cadenas ramificadas de glucosa.

## **6.- ALIMENTOS FUNCIONALES**

### **6.1.- Definición e Importancia.**

Charalampopoulos y col. (2002) y Spence (2006), describen a los alimentos funcionales como todos aquellos productos alimenticios similares en apariencia a los alimentos convencionales, que se consumen como parte de una dieta normal, pero que han sido modificados para cumplir roles fisiológicos, más allá de los requerimientos nutricionales básicos; por lo cual ejercen un efecto beneficioso a la salud y además pueden reducir el riesgo de padecer enfermedades crónicas.

Los productos conocidos como alimentos funcionales constituyen una nueva categoría de productos alimenticios, que han sido ampliamente comercializados porque aportan beneficios a la salud, debido a la presencia de componentes o ingredientes funcionales que mejoran una o más funciones fisiológicas relevantes en el organismo, lo cual debe haber sido evaluado científicamente (Lahteenmaki, 2003; Agarwal y col., 2006; Spence, 2006).

### **6.2.- Tipos de alimentos funcionales.**

Los alimentos funcionales no deben ser considerados como un solo grupo homogéneo, ya que constituyen una diversa categoría de productos, que son percibidos por diferentes puntos de vista según el consumidor (Clydesdale, 2004; Urala y Lähteenmäki, 2004).

Roberfroid (1999); Inglett (2001) y Spence (2006), señalan que existen una gran variedad de alimentos funcionales, los cuales presentan diferentes componentes o ingredientes, que aportan diversos beneficios a la salud, y que éstos pueden clasificarse en alimentos funcionales fortificados, enriquecidos y alterados (Cuadro 7).

### **6.3.- Alimentos funcionales desarrollados para el adulto mayor.**

El grupo del adulto mayor lo constituyen individuos de 65 años o más, y se corresponde con el período en que gran parte de las personas empiezan a experimentar modificaciones en su estilo de vida. Las actividades físicas y sociales generalmente disminuyen, y muchas funciones fisiológicas se suelen ver alteradas (Morales y col., 1997; Del Castillo y col., 2000).

La dieta de las personas de la tercera edad debe ser adecuada a las perturbaciones orgánicas y funcionales, derivadas del proceso de envejecimiento, debiendo tomarse en cuenta los siguientes aspectos: los alimentos, su forma de preparación y presentación, la adecuación a sus problemas digestivos, los hábitos alimentarios, el grado de movilidad física y su estado de salud (Crail y Morales, 1990; Del Castillo y col., 2000; Miquel y col., 2006).

Los valores de referencia de energía y nutrientes para el sector del adulto mayor, establecidos por el INN-Fundación Cavendes (1990) y por Uauy (1996) se

**Cuadro 7.** Tipos de alimentos funcionales, características y ejemplos, según Roberfroid (1999), Inglett (2001) y Spence (2006).

<b>TIPOS DE ALIMENTOS FUNCIONALES</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>EJEMPLOS</b>
FORTIFICADO	<p>Son alimentos a los cuales se les ha incrementado el contenido de componentes nutricionales que están normalmente presentes en el alimento (Spence, 2006).</p> <p>Son productos alimenticios a los cuales se les ha adicionado de manera controlada, uno o más nutrientes específicos, que están normalmente presentes en el alimento (Latham y col., 2001; Seaborn, 2001).</p> <p>Son alimentos mejorados nutricionalmente, por medio de la incorporación de nutrientes, tales como vitaminas y minerales (Figuroa y col., 2001)</p>	<p>Productos derivados de cereales, fortificados con ácido fólico; y jugos de frutas, fortificados con vitamina C (Spence, 2006).</p> <p>Iodización de la sal y fortificación de la leche, con vitaminas A y D (Latham y col. 2001).</p> <p>Fortificación de harinas con óxido de zinc y gluconato de cobre (Poletti y col., 2004)</p>
ENRIQUECIDO	<p>Son productos a los cuales se les incorporan nuevos ingredientes o componentes nutricionales, que normalmente no están presentes en el producto en particular (Roberfroid, 1999; Spence, 2006).</p> <p>Aquellos a los cuales se les incorpora vitaminas o minerales que están presentes en el producto (Seaborn, 2001).</p> <p>Aquellos a los cuales se les ha incorporado ciertas vitaminas y minerales, perdidos durante la transformación y el almacenamiento del producto (Figuroa y col., 2001)</p>	<p>Jugo de naranja, enriquecido con calcio; margarinas enriquecidas con fitoestrógenos (Roberfroid, 1999; Spence, 2006).</p>
ALTERADO	<p>Todo alimento donde se reemplazan componentes ya existentes en el alimento, por componentes beneficiosos, utilizando diversos ingredientes, sin modificar la calidad del producto final (Roberfroid, 1999; Inglett, 2001)</p>	<p>Uso de fibra dietética como sustituto de grasa, en productos derivados de granos (Inglett, 2001).</p>

muestran en el cuadro 8, donde destacan las altas necesidades de proteínas y de ciertas vitaminas y minerales, tales como el calcio, el hierro, la vitamina A y el ácido fólico.

La reducción de la masa corporal observada durante el envejecimiento, se asocia a una disminución progresiva de la cantidad de proteínas presentes en el organismo; por lo tanto, para la personas de la tercera edad, del 10 al 12% del VET (valor energético total) debe provenir de las proteínas, lo cual equivale a valores de proteína desde 1 hasta 1,3 g/kg/día para el sexo masculino, y de 0,98 a 1,1 g/kg/día para el sexo femenino (Sifontes y col., 1999; Latham y col., 2001; Agarwal y col., 2006).

En cuanto a los carbohidratos, éstos deben suministrarse en alimentos cuya preparación sea sencilla, e incluso, que ni siquiera requieran cocción. El aporte de carbohidratos debe oscilar entre el 56 a 59% de las calorías totales de la dieta diaria, lo cual se garantiza con un consumo aproximado de 140 a 173 g. de carbohidratos por cada 1000 Kcal consumidas; de los cuales, de 9 a 12 g deben corresponderse con la ingesta de fibra dietética (Crail y Morales, 1990, Sifontes y col., 1999).

**Cuadro 8.** Valores de referencia de energía y nutrientes para la población venezolana, perteneciente al sector del adulto mayor (INN-Fundación CAVENDES, 1990; Uauy, 1996).

Grupos de edad (años)	Energía (Kcal/día)	Proteínas (g/día)	Vit. A ER/día	Vit. C mg/día	Ácido fólico (µg/día)	Tiamina (mg/día)	Riboflavina (mg/día)	Niacina (mg/día)	Hierro (mg/día)	Calcio (mg/día)
<b>Masculino</b>										
30-59	3035	84	1000	60	400	1,2	1,3	16	8	1050
60 - más	2500	79	1000	60	400	1,2	1,3	16	8	1300
<b>Femenino</b>										
30-59	2235	61	800	60	400	1,1	1,1	14	14	1050
60 - más	1975	73	800	60	400	1,1	1,1	14	14	1300

No obstante, ciertos estudios han demostrado que por diversos motivos, existe un déficit en la ingesta de fibra en la población adulta mayor, lo cual puede causar diferentes patologías, tales como constipación, diverticulitis y cáncer de colon (Cariaga y Soto, 1994).

**6.3.1.-** Importancia del consumo de alimentos enriquecidos con calcio en personas de la tercera edad.

El calcio es el catión divalente más abundante en el organismo humano, y constituye del 1 al 2% del peso corporal. Aproximadamente el 99% de este calcio forma parte de los huesos y dientes, mientras que el resto se encuentra en la sangre, fluidos extracelulares, en los músculos y en otros tejidos, donde interviene como mediador en diversos procesos metabólicos como la vasoconstricción, vasodilatación, contracción muscular, transmisión nerviosa y secreción glandular (Delmas y Fraser, 1999; Palacios, 2003).

Diversos comités de expertos internacionales han subrayado la importancia del consumo de alimentos ricos en calcio como la mejor manera de asegurar una ingesta apropiada del mismo, garantizar una masa ósea adecuada en los niños y adolescentes, y evitar trastornos tales como la formación defectuosa de los huesos y la pérdida de masa ósea (INN, 2000; Bendich, 2001; Latham y col., 2001).

Welten y col. (1995), realizaron un análisis de 33 estudios, que les permitió evidenciar la existencia de una correlación significativa entre la ingesta de calcio y la densidad mineral ósea, determinando que una ingesta de 1 g/día de calcio puede prevenir la pérdida de 1% de hueso/año en la mayoría de las regiones del cuerpo; mientras que Dawson–Hughes y col. (1997), indican que en los primeros años de la postmenopausia, la masa ósea no responde tanto a la suplementación con calcio, ya que es una etapa de rápida absorción ósea; sin embargo, si favorece a aquellas mujeres con más de 5 años posmenopáusicas, reduciendo el índice de fracturas.

Por su parte, Basabe y col. (2004), observaron la existencia de una correlación lineal positiva entre el consumo de calcio y la densidad mineral ósea en algunas regiones de la cadera de mujeres adultas, tales como el cuello femoral ( $r=0,23$ ) y el trócanter mayor ( $r=0,24$ ), ya que las mujeres con una ingesta de calcio superior a 1000 mg/día mostraban una mayor densidad ósea en las zonas anteriormente mencionadas, en comparación con mujeres que tuvieron ingestas inferiores de calcio.

Además, Dwyer y col. (1998), demostraron que la suplementación de 1 g/día de calcio durante varias semanas disminuye significativamente la presión arterial, aunque Appel y col. (1997), señalan que los resultados que se obtienen con el uso de suplementos no son consistentes, posiblemente debido al uso de un solo nutriente aislado. El estudio “DASH”, efectuado por Appel y col. (1997), investigó el efecto de tres dietas en la presión arterial: i) dieta alta en grasas saturadas y

baja en calcio (450 mg/día de calcio), ii) dieta rica en frutas y vegetales, pero baja en calcio (450 mg/día de calcio) y iii) dieta rica en frutas y vegetales y en productos lácteos bajos en grasas saturadas “dieta combinada” (1240 mg/día de calcio), y observaron que la dieta combinada redujo significativamente los valores de presión arterial comparada con las otras dos dietas.

En vista de que el consumo de calcio se ha visto disminuido en los últimos años, de que los procesos de absorción y de retención de calcio en el organismo son ineficientes, y de que la deficiencia de calcio genera osteoporosis y otras enfermedades, se hace realmente necesario adecuar la ingesta de calcio y mejorar los procesos de absorción y retención del mismo (Weaver y Liebman, 2002; Cashman, 2002; Ponce y col., 2006).

El consumo de alimentos ricos en calcio, como los productos lácteos, y el enriquecimiento de ciertos productos alimenticios como jugos de naranja, bebidas carbonatadas, panes de levadura y cereales de desayuno, se han convertido en las medidas más utilizadas para incrementar la ingesta de calcio en la población; sin embargo, los alimentos fortificados con calcio deben tener una forma física y características sensoriales similares a sus contrapartes no fortificados (Fairweather y Teucher, 2002; Nakamura y col., 2004; Mora y col., 2007).

Mora y col. (2007), al evaluar el efecto del consumo de queso de cabra y de bovino, fortificados con 0,5% de carbonato de calcio y sin fortificar, sobre el contenido mineral de los huesos y la densidad ósea en ratas de laboratorio,

encontraron que existían diferencias significativas entre cada uno de los tratamientos empleados, debido a que los valores de contenido mineral de los huesos (BMC), densidad ósea (BMD) y fuerza de rompimiento necesaria a aplicar para lograr la ruptura del fémur (BF), fueron superiores en las ratas suplementadas con los quesos de cabra fortificados y sin fortificar. Las diferencias existentes se deben posiblemente a que el calcio presente en los quesos de cabra se encuentra más biodisponible, ya que la caseína de la leche de cabra difiere de la de bovino en términos de su interacción con el calcio, porque permite una mayor solubilidad de este mineral.

Asimismo, Moschonis y Manios (2006), al examinar el efecto del consumo de productos lácteos enriquecidos con calcio y vitamina D, y de suplementos a base de calcio, sobre el índice de masa ósea y la densidad mineral de los huesos, en un grupo de 101 mujeres adultas postmenopáusicas, observaron que el grupo de mujeres que consumieron los productos lácteos enriquecidos, eran las que mostraban los valores de ingestión de nutrientes más elevados, y los mayores valores de densidad mineral ósea en diferentes zonas del esqueleto.

En busca de alternativas para la obtención de alimentos enriquecidos con calcio, que favorezcan la salud ósea, Romanchik y McKeime (2007), elaboraron tortillas de harina de trigo fortificadas con lactato de calcio, carbonato de calcio o citrato de calcio y compararon su contenido de humedad, capacidad de amasado y atributos sensoriales con tortillas control sin fortificar y con tortillas comerciales no fortificadas, determinando que no existían diferencias estadísticamente

significativas entre cada una de las muestras evaluadas. En cuanto al valor nutricional, los investigadores afirman que cada tortilla enriquecida con calcio proporciona un 11,4% del valor de ingesta diaria recomendada para el calcio, clasificándose según la FDA, como una buena fuente de calcio para mujeres adultas con edades comprendidas entre los 40 y 55 años.

**6.3.2.-** Importancia del consumo de alimentos enriquecidos con hierro en personas de la tercera edad.

El hierro es un elemento de transición que puede existir en los estados de oxidación que van desde +2 a +6. En los sistemas biológicos estos estados oxidativos del hierro están limitados principalmente a los estados ferroso (+2), férrico (+3) y ferril (+4). La interconversión de los estados de oxidación del hierro no es sólo un mecanismo por medio del cual éste participa en reacciones de transferencia de electrones, sino también un mecanismo por medio del cual el hierro puede enlazarse de forma reversible con los ligandos, entre los cuales se encuentran los átomos de oxígeno, nitrógeno y azufre (Lynch, 2004; Singh y col., 2006).

Un tercio del hierro contenido en el organismo es destinado al almacenamiento de proteínas, principalmente bajo la forma de ferritina; el resto se utiliza en el transporte y almacenamiento de oxígeno, y es necesario para la formación de enzimas férricas, las cuales participan en reacciones de

transferencia de electrones y reacciones de óxido reducción (Krebs, 2000; Huang y col., 2001; Heath y Fairweather, 2002; Swanson, 2003).

La deficiencia de hierro es la carencia nutricional más común en el mundo, especialmente en los países en vía de desarrollo, pero también constituye un problema en los países desarrollados, donde prácticamente han sido eliminadas otras formas de malnutrición; en poblaciones de alto riesgo, la prevalencia en la deficiencia de hierro puede llegar a alcanzar un 50%. Esta deficiencia se encuentra circunscrita a los segmentos más vulnerables de la población, como son los niños en etapa de crecimiento, las mujeres embarazadas y las personas de la tercera edad (Walter y col., 1999; Layrisse y col., 2000; Leclère y col., 2002).

En el Reporte de Salud Mundial del año 2002, llamado “Reduciendo riesgos para promover una vida saludable”, las deficiencias nutricionales de hierro fueron identificadas como uno de los 10 factores de riesgo más importantes que pueden provocar la aparición de enfermedades y de discapacidades, e incluso provocar la muerte, con un impacto aún mayor al de las deficiencias de zinc y vitamina A (Lynch, 2004).

La deficiencia de hierro provoca la aparición de síntomas genéricos de anemia; aparecen modificaciones en el comportamiento, tales como la “pica”, desorden que se caracteriza por el consumo anormal de productos no alimenticios; y ocasiona la contracción involuntaria de los músculos de las piernas. Las manifestaciones fisiológicas de la deficiencia de hierro también se observan

en la función inmune, en la capacidad termoregulatoria y en el metabolismo energético (Beard, 2001; Heath y Fairweather, 2002; Chiplonkar y col., 2003; Horton y Ross, 2003).

La deficiencia de hierro es la carencia nutricional más común en el país, afecta principalmente a los niños lactantes y a las mujeres embarazadas, las mujeres y hombres adultos no constituyen verdaderos grupos de riesgo;; aunque la anemia en mujeres postmenopáusicas es más común de lo que parece (Layrisse y García, 1997; Viteri, 1997; Boccio y col., 2004).

La eficiencia de los métodos de fortificación, que buscan mejorar el estado nutricional del hierro, depende de muchos factores, entre los cuales se encuentran la selección del alimento vehículo, la selección de la forma de hierro a utilizar como fortificante y el estado nutricional del hierro en el sector de la población al cual será destinado el producto. Las harinas, panes y cereales son vehículos viables para la fortificación con hierro en los países occidentales, ya que éstos son productos altamente consumidos (Osler, 1999; Beard, 2001; Hurrell y col., 2002; Hansen y col., 2005).

Para determinar el efecto del consumo de alimentos enriquecidos con hierro en la salud, Hansen y col. (2005) investigaron el efecto del consumo de pan de centeno fortificado con fumarato ferroso, sobre las concentraciones de hemoglobina y ferritina sérica en mujeres adultas postmenopáusicas no anémicas, que presentaban deficiencias de hierro. Los resultados obtenidos se presentan en

el cuadro 9, donde se puede apreciar que los niveles de ferritina sérica disminuyeron significativamente en el grupo control, mientras que en el grupo que consumió el pan de centeno fortificado, los valores de ferritina permanecieron prácticamente constantes. Los niveles de hemoglobina prácticamente permanecieron invariables en ambos grupos. De acuerdo a los investigadores, la diferencia en el incremento de ferritina sérica en el grupo suplementado con hierro se debe a la poca utilización del hierro absorbido para la producción de hemoglobina.

**Cuadro 9.** Concentraciones de ferritina sérica y hemoglobina obtenidas para el grupo de mujeres postmenopáusicas suplementadas con pan de centeno fortificado con hierro y sin fortificar (Hansen y col., 2005).

	Ferritina sérica ( $\mu\text{g/L}$ )		Hemoglobina ( $\text{g/dL}$ )	
	Fortificado	Control	Fortificado	Control
Mes 0	19,2 $\pm$ 3,6	24,6 $\pm$ 3,6	12,4 $\pm$ 0,6	12,4 $\pm$ 0,8
Mes 2	19,2 $\pm$ 3,7	21,3 $\pm$ 3,4	12,4 $\pm$ 0,6	12,4 $\pm$ 1,0
Mes 5	18,3 $\pm$ 3,9	20,2 $\pm$ 2,7	12,6 $\pm$ 0,8	12,4 $\pm$ 0,6
$\Delta$ 0-5 meses	-0,49	-4,4	0,2	0

Por su parte, Almeida y col., (2003), determinaron que el consumo de un jugo de naranja fortificado con sulfato ferroso, en mujeres adultas postmenopáusicas, reduce significativamente la incidencia de anemia, debido a la presencia de una mayor cantidad de hierro en la dieta y al alimento vehículo considerado en estudio, que por tratarse de jugo de naranja, presenta un elevado contenido de vitamina C,

nutriente ampliamente reconocido como mejorador de la capacidad de absorción de hierro.

**6.3.3.-** Importancia del consumo de alimentos enriquecidos con ácido fólico en personas de la tercera edad.

El ácido fólico es una vitamina hidrosoluble del complejo B, sintetizada por las bacterias de la flora intestinal y presente en pequeña cantidad en algunos alimentos. Los folatos llevan a cabo funciones esenciales, tales como la síntesis de ADN o ARN y la disminución de la concentración de homocisteína plasmática, considerado éste último como uno de los principales factores de riesgo desencadenantes de enfermedades cardiovasculares en el sector adulto mayor (O'Leary y Sheehy, 2001; Paz y Hernández, 2006; Miao y col., 2007).

La principal causa de deficiencia de ácido fólico es la ingesta insuficiente, pero también se ven afectadas todas aquellas personas que presentan un aumento de sus necesidades por causas fisiológicas (infancia, adolescencia, embarazo, lactancia, menopausia), y por causas patológicas como los estados de hemólisis crónica, pacientes tratados con antagonistas del ácido fólico, personas con dietas "inadecuadas", pacientes con VIH o determinadas enfermedades hematológicas (Neuhouser y Beresford, 2001; Wald y col., 2001).

Cuando ocurren deficiencias de ácido fólico, todas las reacciones metabólicas de carbonos simples se ven comprometidas, ya que varían

dependiendo de la afinidad relativa de las enzimas por la respectiva molécula de folato involucrada. Cuando estas reacciones metabólicas se afectan por la deficiencia de ácido fólico, varios sustratos e intermediarios metabólicos se acumulan y pueden traer consecuencias negativas (Bailey y Gregory, 1999).

Debido a que las enfermedades cardiovasculares se han convertido en la principal causa de muerte a nivel mundial, se han desarrollado una serie de estudios par demostrar el papel protector de las vitaminas B6, B12 y del ácido fólico (Quinlivan y col., 2002; Undurti y col., 2003; Iqbal y col., 2005).

Por su parte, Kawell y col. (2000), evaluaron el efecto del consumo de un jugo de naranja fortificado con diferentes concentraciones de ácido fólico (350 y 415  $\mu\text{g}$  por vaso) sobre los niveles de homocisteína plasmática en mujeres postmenopaúsicas. Luego de 7 semanas, observaron que la concentración de homocisteína disminuyó significativamente, a pesar de que los niveles de la misma eran similares entre los dos grupos de tratamiento; mientras que en la semana 14, la concentración de homocisteína plasmática fue significativamente menor en el grupo con la mayor ingesta de ácido fólico (415  $\mu\text{g}$  diarios).

La suplementación con ácido fólico también ha sido asociada con mejoras en la reactividad vascular, en la función endotelial y en la disminución de marcadores inflamatorios en algunos estudios, mientras que en otros no se ha visto tal efecto en pacientes con enfermedades cardiovasculares establecidas (Iqbal y col. 2005; Vrablik y col., 2007).

Vrablik y col., (2007) y McCarty (2007) investigaron los cambios en los niveles de homocisteína y en la función endotelial por efecto de la ingesta de ácido fólico, en mujeres con edades comprendidas entre los 50 y 60 años. Al observar los resultados obtenidos, los investigadores determinaron que los niveles de homocisteína disminuyeron significativamente en los grupos tratados con ácido fólico; mientras que no hubo efectos significativos de esta vitamina sobre la reactividad microvascular (marcador físico de la función endotelial). No obstante, se observó una ligera tendencia a mejorar la función endotelial.

## ***II.- MATERIALES Y MÉTODOS***

En el presente trabajo de investigación se obtuvo harina y almidón nativo a partir de tubérculos de ñame (*Dioscorea alata*), se realizaron tres tipos de modificaciones (pre-gelatinización, tratamiento alcalino y obtención de almidones granulares solubles en agua fría), y se efectuó la caracterización física y química de la harina y los almidones.

Además se evaluaron las propiedades funcionales de los almidones, y en función a los resultados obtenidos se seleccionó el más apropiado para la elaboración de polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, los cuales fueron caracterizados física, química, microbiológica y sensorialmente.

La harina de ñame fue utilizada como agente espesante y estabilizante en la preparación de néctar de durazno enriquecido con calcio y ácido fólico, el cual también fue caracterizado física, química, microbiológica y sensorialmente.

### **1.- Materia prima.**

Los tubérculos de ñame (*Dioscorea alata*), de la variedad blanca, fueron adquiridos en cinco lotes representativos de 10 Kg. cada uno, en el Mercado Municipal de Maracay, Estado Aragua, a un mismo proveedor, con el fin de

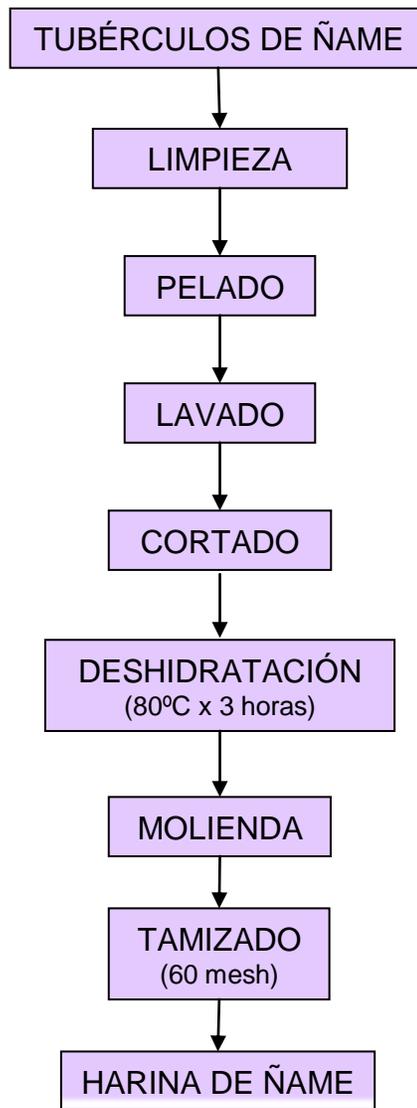
disminuir la posibilidad de mezclas varietales. Además, al momento de adquirirlos, se verificó que cada uno de los lotes de tubérculos no mostrara signos de daño o deterioro.

El procesamiento de la materia prima y la realización de los diferentes análisis físicos, químicos, reológicos, sensoriales y microbiológicos fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Bioquímica de Alimentos de la Facultad de Agronomía de la UCV y en el laboratorio de Frutas y Hortalizas del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ciencias de la UCV.

## **2.- Elaboración de la harina de ñame.**

La harina de ñame se obtuvo de acuerdo a la metodología propuesta por Pacheco y Testa (2005) modificada (Figura 18).

Los tubérculos de ñame fueron pesados, sometidos a un proceso de lavado y limpieza para la eliminación de mucílago e impurezas, y pelados manualmente. Luego, se lavó la parte comestible y se cortó en pequeños trozos, haciendo uso de cuchillos de acero inoxidable. Posteriormente, las rebanadas u hojuelas de ñame obtenidas, se secaron en un deshidratador de bandejas, con circulación de aire forzado (deshidratación convencional), que trabajó a una velocidad de aire constante de  $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .



**Figura 18.** Procedimiento para la obtención de harina de ñame (*D.alata*).

La temperatura de secado seleccionada para el proceso de deshidratación de las hojuelas de ñame, fue de 80°C, y el tiempo de secado requerido de 3 horas, ya que según la Corporación de Racionalización y Consultoría S.A. (1983), en el secado de raíces y tubérculos, y de productos como plátanos, haciendo uso de cabinas, hornos y túneles donde se disponen bandejas cargadas de rodajas de los

diferentes productos, circulando de manera natural o forzada aire caliente, dicho aire no debe exceder una temperatura máxima de 85°C.

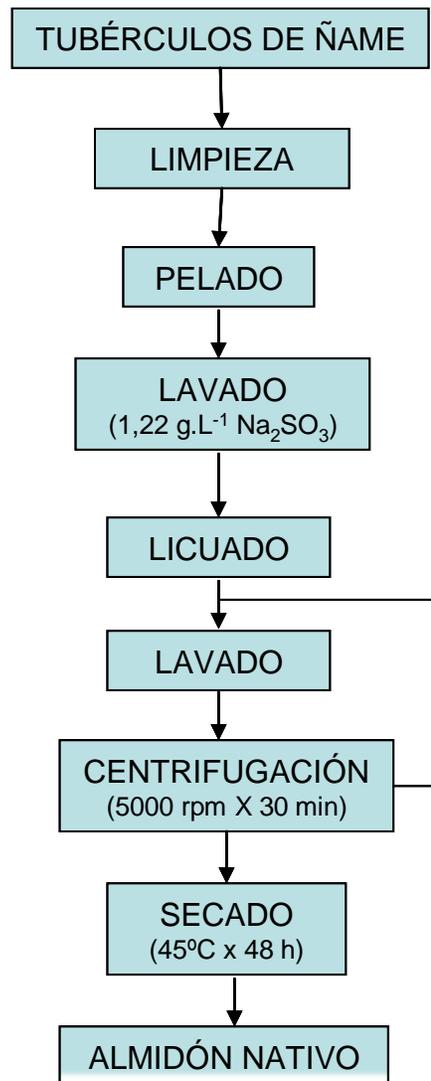
Las hojuelas de ñame deshidratadas fueron sometidas a un proceso de trituración, haciendo uso del equipo conocido como “moulinex” para su transformación en harina, con un tamaño de partícula equivalente a 60 mesh. La harina así obtenida y tamizada, se envasó en recipientes de vidrio y se almacenó refrigerada hasta su posterior utilización. El rendimiento en harina obtenido fue de 26,86%.

### **3.- Extracción, purificación y caracterización de almidones nativos y modificados de ñame.**

#### **3.1.- Extracción y purificación de almidones nativos y modificados de ñame.**

##### **3.1.1.- *Obtención de almidón nativo.***

El aislamiento y purificación de los almidones nativos de ñame se realizó a partir de los tubérculos crudos, utilizando el procedimiento reportado por Kim y col. (1995), modificado por Bello y col. (2002a) (Figura 19), el cual se describe a continuación:



**Figura 19.** Procedimiento establecido para la obtención de almidón nativo de ñame (*D.alata*).

Los tubérculos fueron pelados y cortados en cubos (5 a 6 cm), los cuales se lavaron en una solución de sulfato de sodio (1,22 g.L<sup>-1</sup>) y se maceraron en una licuadora por 2 minutos a baja velocidad. El homogeneizado se pasó a través de

tamices de 50 y 100 mesh, hasta que el agua de lavado se observó completamente limpia; y a continuación, el macerado se centrifugó a 5000 rpm x 30 minutos. El sedimento correspondiente al almidón, se secó en estufa a 45°C por 48 horas, se molió y se tamizó para homogeneizar el tamaño de partícula (100 mesh). El almidón así obtenido fue almacenado a temperatura ambiente en un recipiente cerrado. La obtención de almidón nativo reportó un rendimiento promedio de 12,91%.

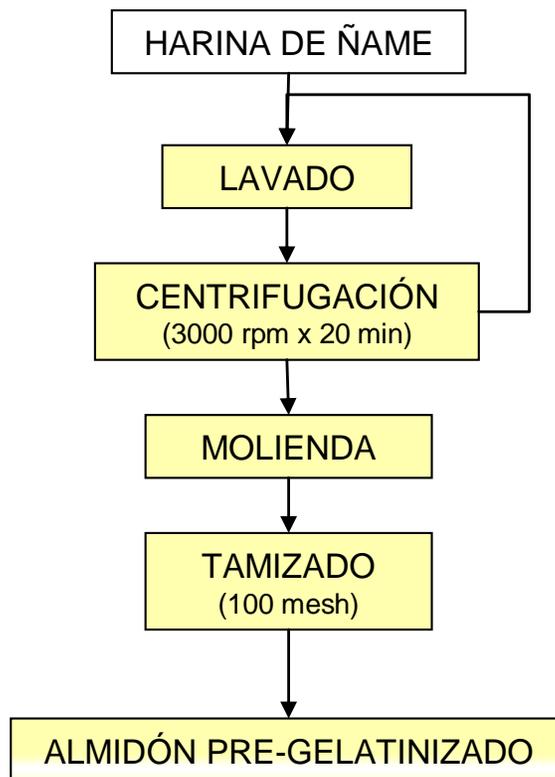
### **3.1.2.- Obtención de almidones pregelatinizados.**

Según el procedimiento descrito por Pérez y col. (2005) modificado (Figura 20), la harina de ñame se someterá a sucesivos lavados con pequeños volúmenes de agua destilada, y ciclos de centrifugación a 3000 rpm x 20 minutos, hasta que el agua de lavado aparentemente esté libre de materiales no amiláceos. El sedimento se secará en estufa con circulación de aire forzado a 45°C por 48 horas, para posteriormente triturarlo en un mortero hasta que alcance un tamaño de partícula igual a 100 mesh, y almacenarlo a temperatura ambiente en un recipiente cerrado. El rendimiento promedio fue de 10,24%.

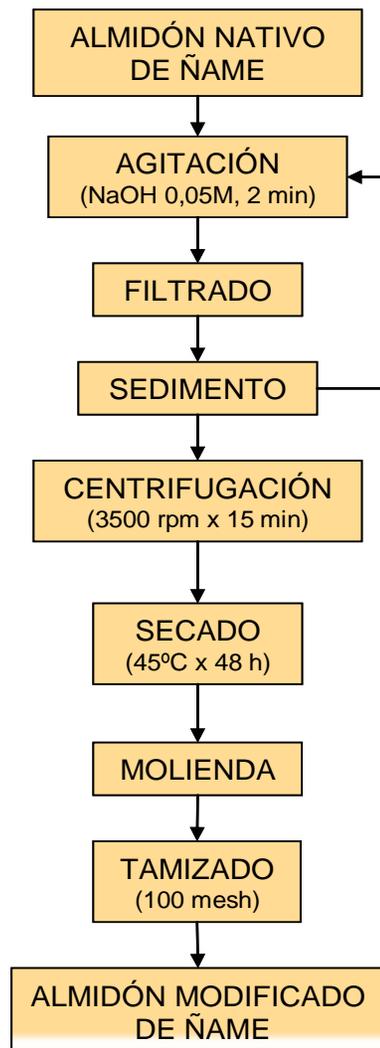
**3.1.3.- Obtención de almidones tratados con NaOH:** de acuerdo a metodología descrita por Farhat y col. (1999), (Figura 21).

Se suspendieron 100 g. de almidón de ñame nativo en 900 ml. de una solución de NaOH 0,05M, agitando suavemente por un período no mayor a 2

minutos. A continuación se filtró la suspensión, y el residuo obtenido se suspendió nuevamente en una solución de NaOH 0,05M. Esta operación se repitió cuatro veces, o hasta que el residuo de la suspensión estaba libre de todo material no amiláceo. Una vez obtenido el precipitado, éste fue sometido a un proceso de centrifugación a 3500 rpm por 15 minutos. El sedimento se secó a 45°C por 48 horas, los gránulos de almidón deshidratados se molieron y se tamizaron para homogeneizar el tamaño de partícula (100 mesh). Los almidones así obtenidos se almacenaron a temperatura ambiente en recipientes cerrados. El rendimiento promedio fue de 7,78%.



**Figura 20.** Procedimiento empleado para la obtención de almidón pregelatinizado de ñame (*D.alata*).

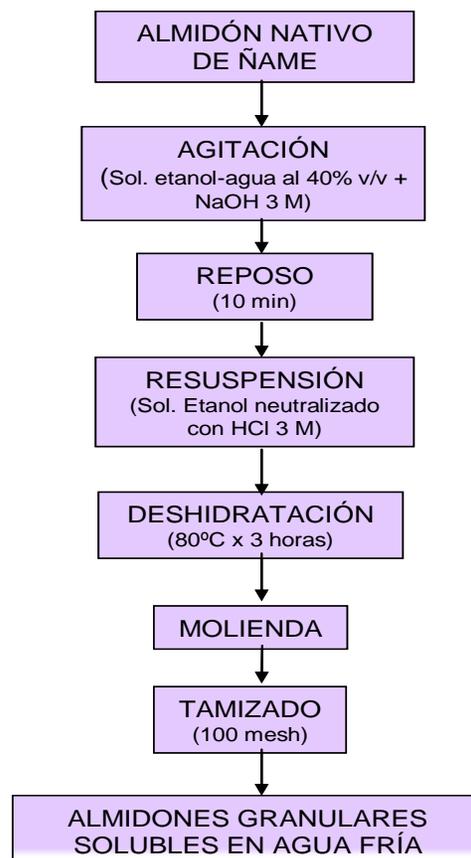


**Figura 21.** Procedimiento empleado para la obtención de almidón de ñame (*D. alata*) modificado por hidrólisis alcalina.

**3.1.4.-** *Obtención de almidones granulares solubles en agua fría:* según el método descrito por Chen y Jane (1994a), (Figura 22).

Para ello, se suspendieron 100 g. de almidón de ñame nativo en una solución de 3 litros de etanol-agua al 40% v/v. A esta mezcla se le adicionó NaOH (3M) a

una velocidad de  $4 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$ , bajo agitación lenta. Después de 10 minutos, la mezcla se dejó a temperatura ambiente hasta que los gránulos de almidón comenzaron a sedimentar. Posteriormente, los gránulos sedimentados se resuspendieron en una solución acuosa de etanol al 40%, y se neutralizaron con HCl 3M. Los gránulos se deshidrataron en estufa con circulación de aire forzado a  $80^{\circ}\text{C}$  por 3 horas. Finalmente el almidón seco, se molió y se tamizó para homogeneizar el tamaño de partícula (100 mesh). Se almacenó a temperatura ambiente en recipientes cerrados. El rendimiento promedio obtenido en el proceso fue de 8, 44%.



**Figura 22.** Procedimiento empleado para la obtención de almidones granulares solubles en agua fría (AGSAF).

**3.2.-**Caracterización física y composición química de la harina y de los almidones de ñame.

Una vez obtenidos la harina y el almidón de ñame nativo, así como los diferentes tipos de almidones modificados, éstos fueron evaluados física y químicamente, con la finalidad de determinar la existencia o no de diferencias estadísticamente significativas entre cada una de las muestras evaluadas.

**3.2.1.-** *Características físicas de la harina y almidones de ñame.*

Los análisis físicos realizados a la harina de ñame, al almidón nativo y a cada una de las muestras de almidones modificados fueron los siguientes:

- pH y Acidez titulable: métodos N° 943.02 y 975.11 de la AOAC (2000).
- Color: según metodología descrita en el Hunter Lab Manual (2001) y Giese (1995).
- Viscosidad aparente: Bello y col. (2002a).

**3.2.2.-** *Composición química de la harina y almidones de ñame.*

La determinación de la composición química de la harina y de los almidones de ñame nativo y modificados se basó en la realización de los siguientes análisis:

- Humedad, cenizas y proteína cruda: para la harina, según AOAC (2000); y para los almidones según AACCC (1997).
- Almidón: McCready y col. (1957).
- Amilosa: Juliano, (1971).
- Amilopectina: por diferencia de los valores de amilosa.
- Fibra dietética total: según AOAC (1997)
- Polifenoles totales: de acuerdo a la metodología propuesta por Kaluza y col. (1980), utilizando el reactivo Folin-Ciocalten

### **3.3.- Hidrólisis enzimática de la harina y de los almidones de ñame.**

La tasa de digestión “in vitro” del almidón contenido en la harina de ñame, así como de los almidones de ñame nativo y modificados, fue cuantificada haciendo uso de la metodología propuesta por Holm y col. (1985).

### **3.4.- Propiedades funcionales de las harinas y de los almidones de ñame.**

Se determinaron las propiedades funcionales de la muestra de harina de ñame y de cada uno de los almidones evaluados. Los análisis realizados fueron los siguientes:

#### **3.4.1.- Poder de hinchamiento, absorción de agua y solubilidad en agua.**

Según metodología de Schoch (1964) y Anderson (1982), en el rango de temperatura comprendido desde 60 hasta 95°C.

#### **3.4.2.- Solubilidad en agua fría.**

Según la metodología descrita por Eastman y Moore (1984), modificada por Bello y col. (2002a). A 100 ml de agua destilada se le adicionó 1 g. de almidón en base seca, mezclándose a baja velocidad en una licuadora. Después de agregar toda la muestra de almidón, el equipo se operó a alta velocidad por 2 minutos. La suspensión de almidón se vació en recipientes de 250 ml., para centrifugar a 3500 rpm por 15 minutos. Una alícuota de 25 ml. del sobrenadante se transfirió a una cápsula de Petri previamente pesada, y se secó en estufa a 110°C por 4 horas. Por diferencia de peso se calculó la solubilidad en agua fría, expresada en porcentaje.

#### **3.4.3.- Estabilidad y claridad de las pastas.**

Se midió la estabilidad y la claridad de las pastas de almidón a temperatura ambiente y a 4°C, haciendo uso de la metodología descrita por Bello y col. (2002a). Para ello se suspendieron 0.2 g de una muestra de almidón en 5 mL de agua utilizando tubos de ensayo con tapa, los cuales fueron colocados en un baño de agua a ebullición por 30 min. Los tubos se agitaron vigorosamente cada 5 min.

Después de enfriar a temperatura ambiente, se determinó el porcentaje de transmitancia (%T) a 650 nm, utilizando agua como testigo. Tres de las muestras se almacenaron a temperatura ambiente y a tres a 4°C, determinando el % T a las 24, 48 y 72 h.

#### **3.4.4.- Estabilidad al congelamiento-deshielo.**

De acuerdo a la metodología descrita por Bello y col. (2002a), se sometieron suspensiones de almidón de ñame al 5% (p/v) a un ciclo de congelamiento (20 °C, 18 h) y posterior deshielo (temperatura ambiente, 6 h). Al término, las muestras fueron centrifugadas a 3000 x g durante 10 min. Los resultados se expresaron como porcentaje de agua separada después de someter la muestra a los ciclos de congelamiento y deshielo.

#### **3.4.5.- Viscosidad aparente.**

Según la metodología planteada por Bello y col. (2002a). Para ello se prepararon pastas de almidón al 1% (p/v) en agua, colocando éstas en un baño con agua hirviendo durante 15 min y posteriormente enfriándolas a temperatura ambiente. La viscosidad aparente de las pastas frías se midió a 25 °C en un viscosímetro Brookfield a tres velocidades de deformación (6, 12 y 30 rpm), utilizando la aguja No. 3. Finalmente se observó la estabilidad de la pasta a una velocidad de deformación constante de 30 rpm, a los minutos 2, 4, 6, 8, 10, 15 y 20.

#### **3.4.6.- *Curvas amilográficas:***

Se utilizó un Visco Amilográfico Brabender, siguiendo la metodología descrita en la AACC (2000). Los parámetros considerados fueron temperatura de gelatinización, viscosidad inicial, viscosidad máxima, viscosidad al final del período de calentamiento y viscosidad al final del período de enfriamiento. Las características reológicas como estabilidad, asentamiento y consistencia expresadas en unidades Brabender, fueron interpretadas y calculadas de acuerdo a Merca y Juliano (1981).

#### **3.5.- Análisis estadístico.**

Para los resultados obtenidos en cada uno de los análisis físicos y químicos realizados, así como para los reportados en cada una de las propiedades funcionales evaluadas, se aplicó un análisis de varianza de una sola vía, mediante un diseño completamente aleatorizado, para así determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre muestras. Los datos fueron calculados empleando el programa "Statistics" para Windows, versión 8.0.

**4.- Desarrollo de productos enriquecidos con calcio, hierro y ácido fólico, elaborados a partir de la harina y del almidón granular de ñame, destinados al adulto mayor.**

***4.1.- Desarrollo de un néctar enriquecido con calcio y ácido fólico, elaborado a partir de pulpa de durazno (*Prunus persica*) y harina de ñame.***

**4.1.1.- Materia prima.**

Las materias primas empleadas para la elaboración del néctar de durazno enriquecido fueron: pulpa de durazno (suministrada por la empresa “Royal Fruit Venezuela”), harina de ñame (elaborada según se describió anteriormente), azúcar, ácido cítrico, citrato de calcio, ácido fólico y agua necesaria para su preparación.

Se estableció que una porción del néctar de durazno enriquecido (250 ml.), debía suministrar el 25% de los requerimientos diarios de calcio (1000 mg / día) y ácido fólico (400 mg / día) del sector “adulto mayor” (INN, 2000). Por lo tanto, cada porción de 250 ml. de néctar de durazno enriquecido debe proporcionar 250 mg de calcio (0,10% p/v) y 100 mg de ácido fólico (0,04% p/v).

#### 4.1.2.- Caracterización de la pulpa de durazno.

Se seleccionó al durazno como fruta para la elaboración del néctar enriquecido debido a que éste es capaz de otorgar colores agradables, sabores y aromas muy intensos, además de encontrarse a buen precio, ser bastante apreciado en el mercado nacional y presentar ciertas componentes nutricionales, entre los cuales se encuentran la provitamina A o beta-caroteno, vitaminas del grupo B, vitamina C, vitamina E, potasio, magnesio y fibra dietética (Ordoñez, 1998; Araya y col., 2006).

La caracterización física y química de la pulpa se efectuó realizando los siguientes análisis:

##### 4.1.2.1.- *Sólidos solubles totales (SST):*

Los sólidos solubles fueron determinado de acuerdo a la metodología propuesta por la Norma Covenin N° 924-83. Para ello, se colocó una pequeña cantidad de muestra en el refractómetro; los sólidos solubles, expresados como °Brix, se determinaron directamente de la lectura dada por el equipo, a una temperatura de muestra de 20°C.

##### 4.1.2.2.- *pH (acidez iónica)*

Se determinó siguiendo la metodología propuesta por Covenin (N° 1151-77)

haciendo uso de un potenciómetro. Para ello se introdujo el electrodo del potenciómetro en una porción de la muestra de pulpa de durazno a 20°C. La lectura se efectuó directamente en la escala del equipo, con una apreciación de 0,1 unidades de pH.

#### 4.1.2.3.- Acidez titulable:

De acuerdo a la metodología de la Norma Covenin N° 1151-77, se pesaron 300 g. de muestra homogeneizada y se transfirieron a un matraz de 2.000 ml., se agregaron 800 ml. de agua destilada y se llevó a ebullición durante 1 hora, reponiendo cada cierto tiempo el agua que se perdía por evaporación. Se enfrió, se enrasó a 2.000 ml y se filtró. Se tomó una alícuota de 25 ml. y se colocó en un matraz aforado de 250 ml., se diluyó hasta un volumen aproximado de 100 ml. con agua destilada, previamente neutralizada. Se tituló con una solución de NaOH 0,1N, utilizando 0,3 ml. de fenolftaleína por cada 100 ml. de la solución que se iba a titular, posteriormente se anotó el volumen del ácido gastado en la valoración.

La acidez titulable se expresó como g. del ácido predominante de la fruta (ácido cítrico) / 100 g. de producto, y se calculó por la fórmula siguiente:

$$\text{Ac. Titulable} = \frac{20 \times V1 \times PE \times N}{100} \times 100 ; \text{ donde:}$$

V1: volumen de hidróxido de sodio gastado en la valoración, en ml.

PE: peso equivalente del ácido predominante, en mg. meq<sup>-1</sup>.

N: normalidad de la solución de hidróxido de sodio, en meq.ml<sup>-1</sup>.

V: volumen de la alícuota, expresado en ml.

4.1.2.4.- *Relación sólidos solubles / acidez*: se calculó dividiendo el contenido de sólidos solubles de la pulpa entre su porcentaje de acidez.

**4.1.3.-** Formulación del néctar de durazno, enriquecido con calcio y ácido fólico, a base de harina de ñame.

Para dar inicio al proceso de formulación y elaboración del néctar de durazno, fue necesario determinar la cantidad o proporción de pulpa, harina, azúcar y ácido cítrico a incorporar en un determinado volumen de agua, siguiendo las especificaciones establecidas por la Norma Covenin N° 1030-95 para jugos y néctares, y por el Codex Alimentarius N° 44-1981 para néctares de albaricoque, durazno y pera.

De acuerdo a lo establecido por la Norma Covenin (1995) y por el Codex Alimentarius (1981), el néctar de durazno debe contener entre 40 y 60% de pulpa de fruta; de 12 a 14 °Brix, un pH de 3,7 a 4,0; y un valor máximo de acidez titulable de 0,5%.

En el presente trabajo de investigación se decidió elaborar néctar de durazno empleando 60% de pulpa, para cumplir con las especificaciones mencionadas anteriormente, y así obtener un producto con características de sabor, aroma, color y textura más intensas.

Una vez establecida la concentración de pulpa a emplear en la elaboración del néctar, se realizaron los cálculos correspondientes, para determinar la proporción exacta de cada uno de los ingredientes necesarios para la preparación del mismo, con la finalidad de obtener un producto que cumpliera con las especificaciones ya establecidas.

La formulación o estandarización consistió de los siguientes pasos o etapas: i) regulación del contenido de sólidos solubles, agua y grado de acidez, ii) adición del agente espesante (harina de ñame) y iii) incorporación de los agentes fortificantes (citrato de calcio y ácido fólico).

**4.1.3.1.-** *Regulación del contenido de sólidos solubles, de la cantidad de agua y del grado de acidez.*

En primer lugar, cabe destacar, que se diseñaron cuatro fórmulas base de néctar de durazno, las cuales presentaban la misma proporción de pulpa, pero diferente concentración de sólidos solubles y grado de acidez, tal como se indica en el cuadro 10.

**Cuadro 10.** Formulaciones establecidas para el néctar de durazno, elaborado a partir de la pulpa de su fruta.

<b>FORMULACIÓN</b>	<b>% PULPA</b>	<b>°BRIX</b>	<b>% ACIDEZ</b>	<b>°Brix / Acidez</b>
A	60	12	0,5	24
B	60	14	0,5	28
C	60	12	0,3	40
D	60	14	0,3	46,6

Para cada una de las bebidas formuladas se determinó la cantidad de azúcar, agua y ácido cítrico que se debía incorporar para obtener 1 Kg. de néctar, para lo cual se efectuaron los siguientes cálculos:

Por ejemplo, para el néctar “A”, con 12°Brix y 0,5% de acidez, se procedió de la siguiente manera:

a.- Para preparar 1 Kg. de néctar al 60%, se requiere de 0,6 Kg. de pulpa.

b.- Si 0,6 Kg. de pulpa aportan 12°Brix y 0,4% de ácido cítrico, entonces:

$$0,6 \text{ Kg} \times 0,12 = 0,072 \text{ Kg sólidos solubles / Kg. néctar.}$$

$$0,6 \text{ Kg.} \times 0,004 = 0,0024 \text{ Kg ácido cítrico / Kg. néctar.}$$

c.- Si el néctar de durazno debe contener 12°Brix y 0,5% de acidez, entonces, 1 Kg néctar debe presentar 0,12 Kg. de sólidos solubles y 0,005 Kg. de ácido cítrico.

d.- Al restar la cantidad de sólidos y de ácido que deben estar presentes, menos la cantidad aportada por la pulpa, se obtuvo la cantidad de azúcar y ác. cítrico necesarios a incorporar por Kg de producto elaborado:

$$0,12 \text{ Kg} - 0,072 \text{ Kg} = 0,048 \text{ Kg} \text{ ó } 48 \text{ g. azúcar / Kg néctar}$$

$$0,005 \text{ Kg} - 0,0024 \text{ Kg} = 0,0026 \text{ Kg} \text{ ó } 2,6 \text{ g de ácido cítrico / Kg. néctar}$$

e.- Una vez obtenida la concentración de pulpa (0,6 Kg) azúcar (0,048 Kg) y ácido (0,0026 Kg), por diferencia se obtuvo la cantidad de agua a incorporar a la mezcla:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Kg néctar} - (0,6 \text{ kg pulpa} + 0,048 \text{ Kg azúcar} + 0,0026 \text{ Kg ácido}) &= \\ = 0,350 \text{ Kg. agua} \end{aligned}$$

Asimismo, para los néctares “B”, “C” y “D”, se calculó la cantidad a incorporar de cada uno de los ingredientes, siguiendo la metodología de cálculo indicada anteriormente.

**4.1.3.2.- Incorporación de la harina de ñame como agente espesante en el néctar de durazno..**

Una vez establecidas las fórmulas base del néctar de durazno (A, B, C y D), se procedió a establecer las concentraciones de harina de ñame a incorporar a las mismas.

Para determinar la proporción en la cual sería incorporada la harina, se consideraron los resultados obtenidos por Pastor y col. (1996), quienes al evaluar el efecto de la incorporación de ciertos hidrocoloides y de almidón de maíz en néctares de durazno bajos en calorías, determinaron que la incorporación de un 5% de almidón, permitía obtener productos con excelentes características de cuerpo y textura.

Por lo tanto, a partir de las formulaciones base de los diferentes néctares de durazno (A, B, C y D) se diseñaron tres (3) formulaciones más para cada una de ellas, empleando concentraciones de 5, 8 y 12% de harina de ñame.

**4.1.3.3.- Incorporación de los agentes fortificantes (carbonato de calcio y ácido fólico) al néctar de durazno..**

De acuerdo al INN (2000) los requerimientos diarios de calcio y ácido fólico para las personas de la tercera edad, sector de la población al cual está destinado

la elaboración del presente producto, son de 1000 mg. y 400 mg. diarios, respectivamente.

Si se consideró que una porción de néctar de durazno a base de harina de ñame (250 ml.), debía suministrar el 25% de los requerimientos diarios de calcio y ácido fólico, entonces la cantidad de cada uno de estos micronutrientes, incorporados como ingrediente en un 1 L. de las bebidas formuladas, fue la siguiente:

- 1000 mg.L<sup>-1</sup> ó 0,10 % de calcio.
- 400 mg.L<sup>-1</sup> ó 0,04% de ácido fólico.

Una vez determinada la proporción bajo la cual serían incorporados cada uno de los ingredientes a utilizar en la elaboración del néctar de durazno enriquecido, se establecieron las formulaciones que se presentan en el cuadro 11.

Sin embargo, cabe señalar que de las doce (12) formulaciones de néctares de durazno enriquecido establecidas inicialmente, solamente se seleccionaron tres (B1, B2 y B3), que fueron las que presentaron las mejores características de color, sabor y aroma, al ser comparadas con una muestra de néctar de durazno comercial.

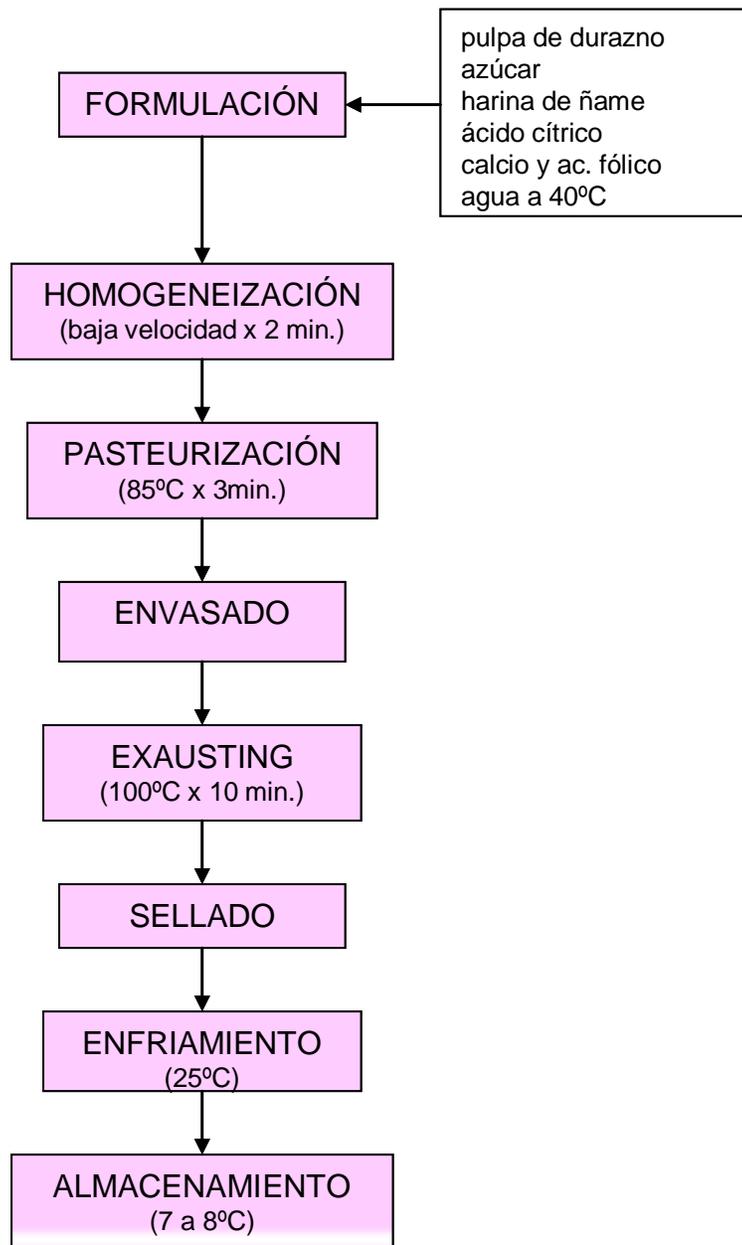
**Cuadro 11.** Formulaciones de néctar de durazno enriquecido con calcio y ácido fólico, a base de harina de ñame.

FORMULACIÓN	PULPA (g/100g)	AZÚCAR (g/100 g)	ÁCIDO CÍTRICO (g/100g)	HARINA ÑAME (g/100 g)	CALCIO (g/100g)	ACIDO FÓLICO (g/100g)	AGUA (g/100g)
A1	60	4,8	0,26	5,0	0,10	0,04	29,8
A2	60	4,8	0,26	8,0	0,10	0,04	26,8
A3	60	4,8	0,26	12,0	0,10	0,04	22,8
B1	60	3,6	0,26	5,0	0,10	0,04	31,0
B2	60	3,6	0,26	8,0	0,10	0,04	28,0
B3	60	3,6	0,26	12,0	0,10	0,04	24,0
C1	60	4,8	0,06	5,0	0,10	0,04	30,0
C2	60	4,8	0,06	8,0	0,10	0,04	27,0
C3	60	4,8	0,06	12,0	0,10	0,04	23,0
D1	60	3,6	0,06	5,0	0,10	0,04	31,2
D2	60	3,6	0,06	8,0	0,10	0,04	28,2
D3	60	3,6	0,06	12,0	0,10	0,04	24,2

**4.1.4.-** Elaboración del néctar de durazno enriquecido con calcio y ácido fólico, a base de harina de ñame.

Una vez determinadas las concentraciones exactas de cada uno de los ingredientes a incorporar en la formulación de la bebida, se procedió a la elaboración de la misma, siguiendo el esquema tecnológico propuesto por Delmonte y col. (2006), el cual se presenta en la Figura 23.

En primer lugar, se procedió al mezclado y homogeneizado de cada uno de los ingredientes necesarios para la elaboración del néctar (pulpa de durazno, azúcar, harina de ñame, ácido cítrico, citrato de calcio, ácido fólico y agua a 40°C), a baja velocidad empleando una licuadora; el proceso de homogeneización tuvo una duración de 2 minutos. Luego, el producto homogeneizado fue sometido a un proceso de pasteurización a 85°C durante 3 minutos. El néctar de durazno pasteurizado se envasó en caliente en recipientes de vidrio, previamente esterilizados, y fue sometido a un proceso de “exhausting” a una temperatura de 100°C por 10 minutos. Posteriormente, los recipientes que contenían el néctar de durazno pasteurizado se sellaron y se mantuvieron en reposo hasta alcanzar temperatura ambiente (25°C), para mantenerse bajo almacenamiento refrigerado.



**Figura 23.** Esquema tecnológico propuesto para la obtención de néctar enriquecido, a base de pulpa de durazno y harina de ñame.

**4.1.5.-** Estudio de la estabilidad del néctar de durazno con harina de ñame, enriquecido con calcio y ácido fólico.

La estabilidad en el tiempo de cada una de las formulaciones de néctar de durazno con harina de ñame enriquecido, así como de una muestra de néctar de durazno comercial, se estudió mediante una serie de determinaciones físicas, químicas y microbiológicas, las cuales fueron llevadas a cabo por un período de tiempo equivalente a 30 días.

**4.1.5.1.-** *Estabilidad física y química.*

Para evaluar la estabilidad física y química de las tres formulaciones de néctar de durazno con harina de ñame enriquecido, y del néctar de durazno comercial, se efectuaron determinaciones de color, contenido de sólidos solubles, pH y acidez titulable, y viscosidad, a los 1, 8, 15, 21 y 30 días de almacenamiento bajo refrigeración, según la metodología que se describe a continuación:

- Color: según metodología descrita en el Hunter Lab Manual (2001) y Giese (1995).

Los parámetros L, a y b fueron evaluados únicamente al primer día de almacenamiento, mientras que en el estudio de estabilidad en el tiempo sólo fue considerado el parámetro "L".

- Sólidos solubles: de acuerdo con la Norma Covenin N° 924-83.
- pH y Acidez titulable: Norma Covenin N° 1151-77.
- Viscosidad: según metodología de la Norma Covenin N° 2181-84a, haciendo uso de un viscosímetro rotacional Brookfield LVF, a temperatura ambiente (22°C). Las lecturas se realizaron con aguja N° 2 y velocidad de corte de 30 rpm. Los resultados se expresaron en centipoise (cps).

Además, se evaluó el porcentaje de sedimentación, según la metodología propuesta por Delmonte y col. (2006), que consistió en filtrar 100 ml. de cada una de las muestras, para que una vez obtenido el sedimento éste fuera sometido a un proceso de secado a 105°C por 5 horas, para posteriormente ser pesado. Las mediciones se realizaron a los 1, 8, 15, 21 y 30 días después de elaborado el producto. Los valores se expresaron en porcentaje p / v.

#### **4.1.5.2.- Estabilidad microbiológica.**

La estabilidad microbiológica de las tres formulaciones de néctar de durazno con harina de ñame enriquecido, y del néctar de durazno comercial, también fue evaluada por un período de 30 días, con determinaciones de aerobios mesófilos, hongos y levaduras, y coliformes totales, al inicio y al final del almacenamiento refrigerado, de acuerdo a la siguiente metodología:

- Aerobios mesófilos: Norma N° 1699 (Covenin, 1981)
- Hongos y levaduras: Norma N° 1337 (Covenin, 1978)
- Coliformes totales: Norma N° 1104 (Covenin, 1984b).

#### **4.1.6.- Evaluación sensorial.**

Las tres formulaciones de néctar de durazno con harina de ñame enriquecido en estudio, y la muestra de néctar de durazno comercial fueron evaluadas haciendo uso de una “prueba de preferencia de clasificación por rangos” (Pedrero y Pangborn, 1996), en la cual un panel no entrenado de 50 jueces (18 hombres y 32 mujeres, con edades comprendidas entre 18 y 25 años), todos estudiantes de la Facultad de Agronomía de la UCV., debían indicar haciendo uso de una secuencia numerada (del 1 al 4), el orden de mayor a menor preferencia, en cuanto a los atributos color, sabor, aroma, consistencia y apariencia general.

Cada una de los néctares de durazno estaban debidamente codificados, y éstos se almacenaron bajo refrigeración hasta ser presentados al panel. La evaluación se realizó en cabinas individuales, y se aseguró que cada uno de los catadores se enjuagaran la boca con agua después de cada evaluación, es decir, entre muestra y muestra.

Los resultados obtenidos se tabularon de acuerdo al análisis de ordenamiento por rangos, para posteriormente ser interpretados haciendo uso de

las tablas de Kahan y col. (1973), Newel y MacFarlane (1987) y Basker (1988 a y b), y del estadístico de Friedman.

#### **4.1.7.- *Análisis Estadístico:***

Para los valores obtenidos de los análisis físicos y fisicoquímicos, se aplicó un análisis de varianza de una sola vía mediante un diseño completamente aleatorizado, para así determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre muestras. La comparación de medias de cada uno de los parámetros, evaluados por triplicado, se realizó por el método de Tukey, con un nivel de significancia ( $P < 0,05$ ), haciendo uso del paquete estadístico “Estatistics versión 8.0 para Windows”.

En cuanto a la evaluación sensorial, el análisis estadístico se realizó haciendo uso de la prueba no paramétrica de Friedman, a un nivel de significancia del 5%.

En cambio, los resultados obtenidos en el estudio de estabilidad, fueron analizados estadísticamente haciendo uso de un análisis de varianza de dos vías, mediante un diseño de bloques al azar, para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre muestras, y para una misma muestra a través del tiempo. Los datos fueron calculados empleando el programa estadístico mencionado.

**4.2.- Desarrollo de un polvo para pudín de chocolate, enriquecido con hierro y ácido fólico, a base de almidón nativo y granular de ñame.**

Se desarrolló un polvo para pudín de chocolate enriquecido, que suministraba el 25% de los requerimientos diarios de hierro (8 mg / día) y ácido fólico (400 mg / día) del sector “adulto mayor” (INN, 2000), elaborado a partir de la incorporación de almidón de ñame nativo o almidón de ñame granular (dependiendo la formulación) como agente viscosante y estabilizante.

Es decir, que cada ración de pudín de chocolate enriquecido debe presentar 2 mg. de hierro y 100 mg. de ácido fólico.

La selección del almidón granular como el almidón de ñame modificado más idóneo para la obtención de este tipo de producto, estuvo determinada por sus propiedades funcionales y sensoriales, y específicamente por su capacidad para solubilizarse en agua fría, otorgar viscosidad y mantenerse estable en las fases de calentamiento y enfriamiento.

**4.2.1- Formulación del polvo para pudín de chocolate enriquecido con hierro y ácido fólico, a base de almidón nativo y granular de ñame.**

Una vez seleccionado el tipo de almidón modificado a utilizar en la preparación del polvo para pudín de chocolate enriquecido, se iniciaron una serie de pruebas preliminares, para determinar las concentraciones de almidón de ñame

nativo y granular más apropiadas para el desarrollo de un pudín con una viscosidad similar a la de una muestra de pudín comercial.

En primer lugar se estudiaron las diferentes marcas comerciales de polvos para pudín existentes en el mercado, para conocer aproximadamente en qué proporción debía efectuarse la dilución de la mezcla deshidratada en un determinado volumen de leche. En general, se observó que las marcas más reconocidas a nivel comercial, sugerían la utilización de 25 a 32 g. de mezcla en polvo por porción, es decir, por cada 75 ml. de leche (relación 3,5:6,5)

Se decidió entonces, iniciar la preparación de los pudines tomando como base 10 ml. de leche entera, a la cual, según la información obtenida, deberían incorporarse aproximadamente 3,5 g. de mezcla para pudín en polvo.

Para establecer cuáles serían las formulaciones más apropiadas en la obtención de pudines enriquecidos con características similares al comercial, se efectuaron una serie de pruebas, empleando diferentes proporciones de cada uno de los ingredientes necesarios para la elaboración de la mezcla en polvo para pudín, entre los cuales se encontraban: almidón de ñame nativo y granular, sacarosa, cacao en polvo, vainillina, sulfato ferroso y ácido fólico.

Cabe destacar que las concentraciones de los agentes fortificantes (sulfato ferroso y ácido fólico), fueron valores constantes, ya que por cada ración de

producto reconstituido (26 g de polvo en 75 ml. de leche), se incorporaron 2 mg. de sulfato ferroso (0,008 g / 100 g de polvo) y 100 mg. de ácido fólico (0,38 g / 100 g de polvo), de forma tal que una porción del producto aportara el 25% de la ingestión diaria recomendada (IDR), para adultos mayores de 51 años (INN, 2000).

Las formulaciones obtenidas, tanto en base al almidón de ñame nativo como al granular, se presentan en el cuadro 12, y las diferentes proporciones de cada uno de los ingredientes que allí se indican, fueron establecidas considerando las recomendaciones efectuadas por Vera y col. (1995); Andrade (2006), Lim y Narsimhan, (2004); Verbeken y col. (2004) y Mohameed y col., (2006).

Para determinar cuál era la formulación a base de almidón nativo y la formulación a base de almidón granular más apropiada, cada una de las formulaciones presentadas en el Cuadro 12 fueron reconstituidas en la misma proporción que los pudines comerciales, y fueron sometidas a pruebas de viscosidad, haciendo uso del viscosímetro de Brookfield (aguja N° 4 y 30 rpm), y a una prueba sensorial de valoración de calidad por parámetro de Karlshure, que consiste en evaluar los atributos sensoriales del producto en función a nueve grados de calidad, que van desde “excelente” (9) hasta “muy mala” (1). La muestra más preferida es aquella que reporta el mayor valor de grado de calidad para cada uno de los atributos evaluados (Pedrero y Pangborn, 1996).

**Cuadro 12.** Formulaciones para los polvos de pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico.

Ingredientes	Formulaciones (g / 100 g polvo)																			
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	FN*	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	FG**
Almidón nativo	10	10	10	15	15	15	20	20	20	La mejor										
Almidón granular											10	10	10	15	15	15	20	20	20	La mejor
Sacarosa	75	70	65	75	70	65	75	70	65	La mejor	75	70	65	75	70	65	75	70	65	La mejor
Cacao en polvo	15	20	25	10	15	20	5	10	15	La mejor	15	20	25	10	15	20	5	10	15	La mejor
Vainillina	0,1									0,1	0,1									0,1
Sulfato ferroso	0,008									0,008	0,008									0,008
Ácido fólico	0,38									0,38	0,38									0,38

\* FN: fórmula obtenida con base en el almidón de ñame nativo más preferida, de acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba sensorial de valoración de calidad por parámetro de Karlshure,

\*\*FG: fórmula obtenida con base en el almidón de ñame granular más preferida, de acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba sensorial de valoración de calidad por parámetro de Karlshure,

Para la prueba sensorial de valoración de calidad por parámetro, se utilizó un panel de 8 jueces no entrenados, y una tabla de valoración por escala de Karlshure diseñada especialmente por Vera y col. (1995), para productos alimenticios tipo pudín (Cuadro 13).

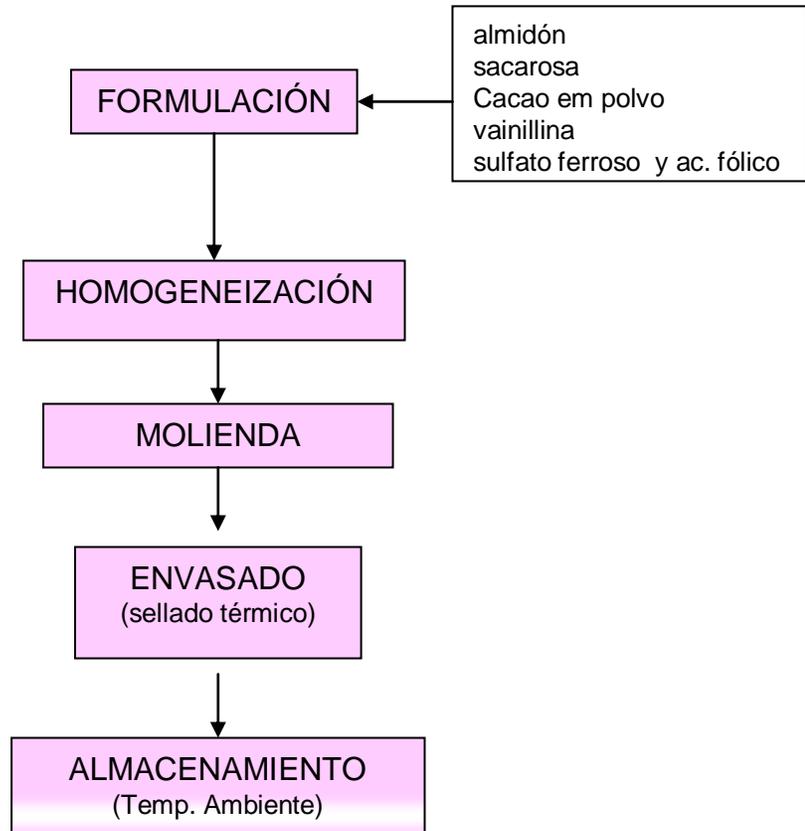
Los resultados obtenidos en esta prueba, conjuntamente con los valores determinados en el análisis de viscosidad, permitieron definir cuáles eran las formulaciones de polvos para pudín de chocolate enriquecido más preferidas, y con las mejores características de viscosidad, similares a las del producto comercial.

**4.2.2.-** Elaboración del polvo para pudín de chocolate enriquecido con hierro y ácido fólico, a base de almidón de ñame nativo y granular.

La elaboración del producto, a nivel de laboratorio, se realizó según la metodología que se representa en la figura 24. En primer lugar se mezclaron y homogeneizaron cada uno de los ingredientes necesarios para la preparación del polvo para pudín de chocolate enriquecido (almidón de ñame nativo o granular, sacarosa, cacao en polvo, vainillina, sulfato ferroso y ácido fólico). Posteriormente, una vez homogeneizados todos los ingredientes, éstos fueron sometidos a un proceso de molienda y tamizado. El polvo homogeneizado, molido y tamizado fue envasado en bolsas de aluminio, y éstas fueron selladas térmicamente. El almacenamiento del polvo para pudín de chocolate enriquecido se realizó a temperatura ambiente, hasta su posterior utilización.

**Cuadro 13.** Tabla de valoración por escala de Karlshure, diseñada por Vera y col. (1995) para productos tipo “pudín”.

Características	Calidad Grado 1: Características típicas			Calidad Grado 2: Deterioro tolerable			Calidad Grado 3: Deterioro indeseable		
	Excelente	Muy Bien	Buena	Satisfactoria	Regular	Suficiente	Defectuosa	Mala	Muy mala
	9	8	7	6	5	4	3	2	1
<b>Color</b>	Muy natural. Totalmente homogéneo. Muy agradable.	Natural. Homogéneo. Agradable. Con manchas.	Típico. Algunas zonas con dif. de color.	Desuniforme, aún agradable. Algo pálido.	Poco atractivo. Desuniforme. Algo artificial.	Artificial. No atractivo. Muy pálido. Desuniforme.	Alterado. Atípico. Sin atractivo. Muy desuniforme.	Desagradable. Muy desuniforme.	Muy desagradable. Inaceptable.
<b>Apariencia</b>	Muy atractiva. Homogénea. Característica.	Atractiva. Homogénea. Muy agradable.	Buena. Agradable.	No tan homogénea. Presencia de alvéolos de aire.	Levemente alterada o hundida.	Algo hundida. Algo atrofiada.	Hundida. Atrofiada.	Intensamente cambiada.	Completamente alterada.
<b>Sabor</b>	Característico. Natural. Intenso.	Característico. Natural. No tan intenso.	Carac. Algo suave.	No equilibrado. Predominio de un componente extraño.	Algo artificial. Sabor residual y extraño.	Artificial. Sabor extraño. poco agradable.	Alterado. Intenso. sabor extraño.	Alterado. Muy extraño. Desagradable.	Repulsivo.
<b>Textura</b>	Excepcional. Típica, suave.	Muy buena. Buen cuerpo.	Buena. Con grumos.	Lig. Áspera. Volumen agradable.	Grumosa pero suave. Algo áspera.	Alterada, poco suave. Áspera.	Claramente alterada. Muy áspera.	Desagradable. Grumosa.	Inaceptable.



**Figura 24.** Esquema propuesto para la obtención del polvo para pudín de chocolate enriquecido con hierro y ácido fólico.

Para la elaboración del pudín de chocolate enriquecido, el producto en polvo fue posteriormente reconstituido en leche líquida entera a temperatura ambiente, en la relación 34,7 g / 100 ml. Una vez disuelto el polvo, la suspensión obtenida fue sometida a altas temperaturas hasta alcanzar el punto de ebullición; el calentamiento de la mezcla se mantuvo durante cinco (5) minutos, y

posteriormente se realizó el llenado de moldes individuales. Se esperó que las muestras se enfriaran lo suficiente, y luego éstas fueron almacenadas a temperaturas de refrigeración (Lim y Narsimhan, 2004)

**4.2.3.-**Evaluación de los polvos para pudín de chocolate, enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo y granular.

La evaluación física, química, microbiológica y organoléptica, fue llevada a cabo para las dos formulaciones seleccionadas (una a base de almidón de ñame nativo, y la otra a base del almidón de ñame granular) y para una muestra de polvo para pudín de chocolate comercial.

**4.2.3.1.-** Composición química de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico.

La composición química de cada una de las formulaciones de polvos para pudín de chocolate enriquecidos, y del polvo para pudín de chocolate comercial se fundamentó en los siguientes análisis:

- Humedad, cenizas, proteína cruda, grasa cruda: AOAC (2000).
- Almidón: McCreedy (1957), modificado por Pacheco.
- Azúcares totales: AOAC (1995)

- Polifenoles totales: de acuerdo a la metodología propuesta por Kaluza y col. (1980), utilizando el reactivo Folin-Ciocalten.

**4.2.3.2.-** *Evaluación microbiológica de los polvos para pudín enriquecidos con hierro y ácido fólico..*

A las formulaciones de polvo para pudín de chocolate enriquecidos y al polvo para pudín de chocolate comercial se les efectuaron determinaciones de aerobios mesófilos y hongos y levaduras de acuerdo a la siguiente metodología:

- Aerobios mesófilos: Norma Covenin N° 902 (1987).
- Hongos y levaduras: Norma Covenin N° 1337 (1978).

**4.2.3.3.-** Estudio de la estabilidad de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico.

La estabilidad en el tiempo de cada una de las formulaciones de polvos para pudín de chocolate enriquecidos, así como de una muestra de polvo para pudín de chocolate comercial, se estudió mediante la determinación de color y aw, las cuales fueron llevadas a cabo por un período de tiempo equivalente a 60 días, efectuándose determinaciones a los 1, 15, 30, 45 y 60 días de almacenamiento a temperatura ambiente.

La metodología empleada fue la siguiente:

- Color: según Hunter Lab Manual (2001) y Giese (1995).

Los parámetros L, a y b fueron evaluados únicamente al primer día de almacenamiento, mientras que en el estudio de estabilidad en el tiempo sólo fue considerado el parámetro "L".

- Actividad de agua: equipo sensor de humedad Aqua Lab.

**4.2.3.4-** Estudio de la estabilidad de los pudines de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, reconstituidos en leche.

La estabilidad en el tiempo de cada una de las formulaciones de polvos para pudín de chocolate enriquecidos, así como de una muestra de polvo para pudín de chocolate comercial, reconstituidos en leche, se estudió mediante la determinación de color, pH y viscosidad, las cuales fueron llevadas a cabo por un período de tiempo equivalente a 7 días, efectuándose determinaciones a los 1, 3, 5 y 7 días de almacenamiento bajo refrigeración.

La metodología empleada para la realización de los análisis anteriormente mencionados fue la siguiente:

- pH: método N° 943.02 AOAC (2000).
- Color: según metodología descrita en el Hunter Lab Manual (2001) y Giese (1995). Sólo se determinó el índice de luminosidad “L”.
- Viscosidad aparente: metodología de Bello-Pérez y col. (2002a).

**4.2.3.5.-** Evaluación sensorial de los pudines de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, reconstituidos en leche.

Las dos formulaciones de pudines en estudio, y la muestra de pudín de chocolate comercial fueron evaluadas haciendo uso de una “prueba de preferencia de clasificación por rangos” (Pedrero y Pangborn, 1996), en la cual un panel no entrenado de 50 jueces, con edades comprendidas entre 18 y 25 años, todos estudiantes de la Facultad de Agronomía de la UCV., debían indicar haciendo uso de una secuencia numerada (del 1 al 3), el orden de mayor a menor preferencia, en cuanto a los atributos color, sabor, aroma, consistencia y apariencia general.

Cada una de los pudines evaluados estaban debidamente codificados, y éstos se almacenaron bajo refrigeración hasta ser presentados al panel. La evaluación se realizó en cabinas individuales, y se aseguró que cada uno de los catadores se enjuagaran la boca con agua después de cada evaluación, es decir, entre muestra y muestra.

Los resultados obtenidos se tabularon de acuerdo al análisis de ordenamiento por rangos, para posteriormente ser interpretados haciendo uso de

las tablas de Kahan y col. (1973), Newel y MacFarlane (1987) y Basker (1988 a y b), y del estadístico de Friedman.

#### **4.2.3.6.- *Análisis estadístico.***

Para los valores obtenidos de los análisis físicos y químicos efectuados a las formulaciones de polvos para pudín de chocolate enriquecidos y a la muestra de polvo para pudín de chocolate comercial, se aplicó un análisis de varianza de una sola vía, mediante un diseño completamente aleatorizado, para así determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre muestras. Los datos fueron calculados empleando el programa “Estatistics” para Windows, versión 8.0.

Los resultados de la evaluación sensorial, efectuada a los polvos para pudín de chocolate enriquecidos reconstituidos en leche, para cada uno de los parámetros evaluados, fueron analizados para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas, por medio de un análisis de varianza bifactorial por rangos de Friedman, utilizando el referido programa estadístico.

Los resultados obtenidos en el estudio de estabilidad, tanto para los polvos como para los pudines de chocolate enriquecidos reconstituidos, fueron analizados estadísticamente haciendo uso de un análisis de varianza de dos vías, mediante un diseño de bloques al azar, para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre muestras, y para una misma

muestra a través del tiempo. Los datos fueron calculados empleando el programa estadístico anteriormente mencionado.

### *III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN*

#### **1.- CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA HARINA DE ÑAME (*Dioscorea alata*).**

##### **1.1.- Caracterización física de la harina de ñame.**

En el Cuadro 14 se presentan los resultados obtenidos para las características físicas evaluadas en la harina de ñame, y específicamente para los parámetros color, pH y acidez titulable.

El atributo color, evento psicofísico de gran relevancia en la calidad de los productos alimenticios, que determina la aceptabilidad de los mismos por el consumidor (Giese, 1995), fue medido en la harina de ñame en estudio, a través de los parámetros L, a, b y  $\Delta E$ , para los cuales se obtuvieron valores de 85,34; 0,51; 8,34 y 11,27, respectivamente.

Al comparar el valor de  $\Delta E$ , que determinó la magnitud de la diferencia de color existente entre la muestra de harina de ñame respecto a la placa estándar, con los resultados obtenidos por otros investigadores, se puede apreciar que éste fue inferior al determinado por Pérez y Pacheco (2005), para harina de batata (15,97); por Pérez (2001), para harina de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*) (11,77) y por Pacheco y col. (2008a), para harinas de plátano verde (12,84).

**Cuadro 14.** Caracterización física de la harina de ñame (*Dioscorea alata*).

<b>PARÁMETROS</b>	<b>HARINA</b>
<b>COLOR<sup>1</sup></b>	
L	85,34±0,35
a	0,51±0,05
b	8,34±0,11
$\Delta E^2$	11,27
pH	5,91±0,03
ACIDEZ TITULABLE (%)	0,05±0,00

1 Calibrado con la placa estándar, con valores de L = 94,68, a = -1,24 y b = 2,27.

2  $\Delta E^2 = L^2 + a^2 + b^2$

Los resultados presentados anteriormente, sugieren que la harina de ñame en estudio muestra una mayor tendencia al color blanco que harinas obtenidas a partir de otras fuentes botánicas, evaluadas en trabajos de investigación previos, debido posiblemente a la presencia de compuestos antioxidantes en el ñame, tales como antocianinas y dioscorina, que evitan el oscurecimiento de los productos que a partir de este tubérculo pueden obtenerse (Hsu y col., 2004 y Chou y col., 2006).

En cuanto a los valores obtenidos para los parámetros pH (5,91) y acidez titulable (0,05%), se puede apreciar que éstos se encuentran dentro del rango aceptado para harinas comerciales, ya que los valores de pH deben ser superiores a 5,6, y los de acidez inferiores a 0,11% (Covenin, 1985; Salazar y Marcano, 2005).

El pH y la acidez, tanto en las harinas como en los almidones, son indicadores del uso de aditivos, fermentación o aplicación de algún tipo de modificación. Los ácidos orgánicos presentes en los alimentos influyen en el sabor, color y en la estabilidad de los mismos. Asimismo, la acidez es uno de los índices comunes de la materia prima vegetal, y la misma se debe a la presencia de diversos ácidos orgánicos, en proporciones variables, principalmente: cítrico, málico, tartárico, oxálico, fórmico, succínico, galacturónico, entre otros. Por lo tanto, la determinación de la acidez constituye un índice de calidad importante, que además, permite determinar si un producto ha sufrido o no algún deterioro, ya

sea de tipo físico, químico o microbiológico (Belitz y Grosch, 1985; Rached y col., 2006).

Además, al comparar los resultados de pH y acidez obtenidos, con los reportados para otras raíces y tubérculos, se puede apreciar que la harina en estudio presentaba valores similares a los determinados para harinas de ñame elaboradas por Rached y col. (2006), y harinas de batata evaluadas por Pérez y Pacheco (2005). En cambio, Pérez (2001), al evaluar harinas de ocumo chino y ocumo criollo, encontró valores de pH de 6,3 y 6,5; mientras que Aryee y col. (2006), al estudiar harinas de diferentes variedades de yuca, obtuvieron valores superiores, desde 6,50 hasta 8,15.

## **1.2.- Composición química de la harina de ñame.**

El Cuadro 15 resume los resultados obtenidos para la composición química de la harina de ñame en estudio.

El contenido de humedad promedio, determinado para la harina de ñame fue de 10,18%, valor que se encuentra dentro del rango de humedad recomendado por Thomas y Atwell (1999) y Pérez y Pacheco (2005), quienes indican que en productos secos como las harinas y almidones, bajo condiciones atmosféricas normales, el contenido de humedad debe encontrarse entre 10 y 20%, ya que en este tipo de productos generalmente se alcanza el equilibrio a valores cercanos al 12%.

**Cuadro 15.** Composición química en base seca de la harina de ñame (*Dioscorea alata*) ( $\bar{x} \pm ds$ , n= 3)

<b>PARÁMETROS (g / 100 g)</b>	<b>HARINA DE ÑAME</b>
HUMEDAD	10,18±0,17
CENIZAS	3,91±0,05
PROTEÍNA CRUDA	6,20±0,15
FIBRA DIETÉTICA	6,21±0,00
GRASA CRUDA	0,38±0,13
ALMIDÓN	78,69±0,35
AMILOSA	30,22±0,07
POLIFENOLES	0,34±0,00

El porcentaje de humedad de la harina de ñame evaluada, fue similar a los valores reportados para otras harinas de ñame por Akanbi (1996) y Akissoe y col. (2004); y a los presentados por Aryee y col. (2006) en harinas de yuca, Pérez (2001) en harinas de ocumo chino y ocumo criollo, y por Pérez y Pacheco (2005) en harinas de batata.

En lo que se refiere a la composición química en base seca, destaca su elevado contenido de almidón (78,69%) y de fibra dietética (6,21%), por lo cual puede ser considerada como un producto alimenticio con un gran valor energético y con potencial para prevenir la aparición de enfermedades crónicas, debido a que ciertos estudios han demostrado que el consumo de fibra dietética se correlaciona con una baja incidencia de diabetes, hipertensión arterial y obesidad (Bjorck y col., 1994; Asp y col., 1996; Jenkins y col., 2000; Wittig de Penna y col., 2002).

Los resultados obtenidos en cuanto al contenido de almidón y fibra dietética, son comparables a los reportados para otras harinas de ñame por Blanco y col. (2004); Freitas y col. (2004); Leonel y col. (2006) y Jayakody y col. (2007); y a los presentados por Pérez (2001) y Tagodoe y Nip (1994), para harinas provenientes de *Colocasia esculenta* (ocumo chino).

En vista de que la harina en estudio, presenta un contenido de almidón similar al determinado para harinas de diferentes variedades de ñame y de otras raíces y tubérculos, e incluso superior al reportado por Pérez (2001), en harinas de batata y ocumo criollo (48,38 y 49,50%, respectivamente), este producto adquiere

una gran importancia como ingrediente alimenticio de gran valor energético, y como posible fuente alternativa de almidón comercial; no obstante, esto también estaría determinado por las propiedades funcionales de sus almidones nativos y modificados.

Sin embargo, existen harinas de otras fuentes botánicas, analizadas en investigaciones previas, con un mayor contenido de fibra, tales como las harinas de plátano verde evaluadas por Pacheco y col. (2008a) (9,37%), la harina de batata analizada por Pérez y Pacheco (2005) (7,33%), y la harina de ocumo chino investigada por Tagodoe y Nip (1994) (9,9%).

En cuanto al contenido de proteína cruda determinado en la harina de ñame en estudio (6,20%), éste fue similar al reportado por Ravindran y Wanasundera (1992) y Leonel y col. (2006), al evaluar harinas provenientes de tubérculos de la familia de las *Dioscoreaceae*; pero inferior al determinado en el presente estudio para la harina de trigo (11,86%), lo cual debe tenerse en cuenta al momento de elaborar productos con harinas compuestas trigo-ñame, por ejemplo en pastas alimenticias (Sabino y Pacheco, 2006).

No obstante, el contenido de proteínas en la harina de ñame evaluada, fue superior al reportado en la bibliografía para harinas de otras raíces y tubérculos tropicales, ya que en harinas de yuca Aryee y col. (2006) y Sandoval y col. (2007), reportaron valores de 1,96% y 1,42%; mientras que Tagodoe y Nip (1994) y Pérez (2001), encontraron un contenido de proteínas de 3,2 y 3,5% en harinas de ocumo

chino.

Chou y col. (2006), señala que el ñame es el único representante del grupo de raíces y tubérculos tropicales que muestra valores tan elevados de proteína cruda, con un buen balance de aminoácidos esenciales para la nutrición humana, ya que la fracción de proteínas está constituida por los aminoácidos leucina, isoleucina, valina, lisina, metionina, fenilalanina, triptófano y treonina.

En lo que se refiere al contenido de cenizas (3,91%), éste fue similar a los valores obtenidos por Ikediobi y Oti (1983); Fu y col. (2004) y Jayakody y col. (2005), en harinas de diferentes especies de *Dioscoreas*; pero superior al reportado en la bibliografía para harinas de yuca (Sandoval y col., 2007), ocumo chino (Tagodoe y Nip, 1994) y batata (Pérez, 2001).

El mayor contenido de cenizas de la harina de ñame en estudio indica que presenta una mayor proporción de minerales y sales inorgánicas, y la diferencia existente en su concentración, al compararla con los valores de cenizas obtenidos para otras harinas, posiblemente está determinada por la fuente botánica, las condiciones de cultivo y el procedimiento de obtención de la misma (Peterson y col., 1986; Vitoria y Alcorcés, 2007), ya que ésta se trata de una harina no refinada, con un bajo grado de extracción.

En cuanto al contenido de grasa cruda en la harina (0,38%), éste fue similar al reportado por Blanco y col. (2004) y Ravindran y Wanasundera (1992), pero

inferior al presentado por Chou y col. (2006) en otras harinas de ñame (0,43%).

Además, el contenido en grasa cruda fue relativamente bajo si se compara con la concentración reportada por la bibliografía para harinas elaboradas a partir de otras raíces y tubérculos, por ejemplo, en harinas de yuca, Aryee y col., (2006) determinaron un 0,75% de grasa; Pérez (2001) encontró valores de 1,07 y 0,88% en harinas de ocumo chino y ocumo criollo, respectivamente; Tagodoe y Nip (1994) reportaron un 0,80% en harinas de ocumo chino; y Pérez y Pacheco, (2005) un 0,66% en harinas de batata.

El resultado obtenido para el contenido de polifenoles en la harina de ñame en estudio fue significativo (0,34%), ya que éste fue superior a los valores reportados por Bhandari y Kawabata (2004), en harinas de *D. bulbifera* y de *D. esculenta* (0,16 y 0,13%, respectivamente); y similar al determinado por Chen y Lin (2007), para harina de *D. alata* (0,35%).

La presencia de estos compuestos químicos en la harina de ñame, permite suponer que la misma cuenta con propiedades antioxidantes. Por lo tanto, el consumo de productos alimenticios elaborados a partir de la misma, sería interesante por su actividad antioxidante, en busca de disminuir el efecto de las reacciones mediadas por radicales libres, las cuales están involucradas en procesos degenerativos o patológicos, tales como el envejecimiento, el cáncer, las enfermedades coronarias y el mal de Alzheimer (Gey, 1990; Ames y col., 1993; Hou y col., 2001).

## **2.- CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ALMIDONES NATIVO Y MODIFICADOS DE ÑAME (*Dioscorea alata*).**

### **2.1.- Caracterización física del almidón nativo y de los almidones modificados de ñame.**

Los resultados obtenidos para las características físicas evaluadas en los almidones nativo y modificados de ñame, se presentan en el Cuadro 16.

En lo que respecta al atributo color, medido a través de los parámetros L, a y b, los valores obtenidos fueron estadísticamente diferentes entre las muestras de almidones analizados, ya que aquellos sometidos a tratamiento alcalino y los almidones granulares fueron los que presentaron el mayor grado de luminosidad o blancura, con valores de L iguales a 93,82 y 94,31, respectivamente, debido posiblemente a que este tipo de almidones modificados fueron sometidos a un proceso de extracción y purificación más eficiente.

Al calcular el valor de  $\Delta E$ , y determinar la diferencia de color entre cada una de las muestras de almidones analizadas y la placa estándar, se observó que la menor diferencia de color, respecto al estándar, se obtuvo para los almidones granulares, que presentaron un  $\Delta E$  igual a 0,56; ya que éstos fueron sometidos a un proceso de modificación que implica un mayor grado de purificación, eliminando una mayor cantidad de componentes químicos, que normalmente no están presentes en los almidones, o que se encuentran en muy pequeñas

**Cuadro 16.** Características físicas de los almidones de ñame nativo y modificados ( $\bar{x} \pm ds$ , n= 3).

PARÁMETROS	ALMIDÓN NATIVO	ALMIDONES MODIFICADOS		
		Pre-Gelatinizado	Hidrólisis Alcalina	Granular
Color <sup>1</sup>				
L	93,08±0,04a	93,62±0,03b	93,82±0,54b	94,31±0,14c
a	1,23±0,12b	1,28±0,00b	1,08±,29a	1,14±0,02a
b	3,03±0,87b	3,12±0,02b	2,27±1,25a	2,68±0,06a
$\Delta E^2$	1,77a	1,36a	0,87b	0,56b
pH	6,95±0,03a	6,87±0,05a	7,31±0,31b	7,10±0,15a
Acidez Titulable (%)	0,03±0,00a	0,03±0,00a	0,02±0,00b	0,02±0,00b
Viscosidad Aparente (cps)	68±0,00a	80±0,00b	80±0,10b	80±0,00b

Los valores promedio con la misma letra en una misma fila no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza y de rango múltiple ( $p \leq 0,05$ ; n=3).

1 Calibrado con la placa estándar, con valores de L = 94,68, a = -1,24 y b = 2,27.

$$2 \Delta E^2 = (\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2$$

cantidades, tales como proteínas, fibra dietética y polifenoles (Gebre y col., 1998; Fu y col., 2004).

Farhat y col. (1999) y Moorthy (2002) al evaluar el índice de luminosidad de almidones de ñame nativo, presentaron resultados similares al reportado para el almidón de ñame en estudio ( $L=93,08$ ), mientras que McPerson y Jane (1999), al evaluar almidones nativos de diferentes especies de *Dioscorea* obtuvieron valores de “L” más bajos, comprendidos entre 79,87 y 83,56. Estas diferencias podrían atribuirse al método de extracción del almidón y/o a las diferentes variedades de *Dioscorea* empleadas para la obtención del mismo.

En cuanto a los valores de pH y acidez titulable obtenidos al evaluar los diferentes tipos de almidones de ñame (Cuadro 16), se observaron diferencias estadísticamente significativas, ya que los almidones nativo, pre-gelatinizado y granular mostraron valores de pH cercanos a la neutralidad (6,95; 6,87 y 7,10, respectivamente); mientras que el almidón modificado vía alcalina, mostró el valor más alto de pH (7,31) y más bajo de acidez (0,02%), debido posiblemente al tipo de modificación empleada (hidrólisis alcalina) (Rutenberg y Solarek, 1994; Choi y Kerr, 2004).

No obstante, es importante señalar que los valores de pH y acidez titulable obtenidos se encuentran dentro del rango aceptado para harinas y almidones comerciales, ya que los valores de pH deben ser superiores a 5,6, y los de acidez inferiores a 0,11% (Covenin, 1985; Salazar y Marcano, 2005).

Para almidones nativos de diferentes especies de *Dioscoreaceae*, Yu y col. (1999), Tetchi y col. (2007) y Wang y col. (2007), obtuvieron valores de pH de 6,92; 7,08 y 7,23, similares al presentado para el almidón de ñame en estudio; pero, Shujun y col. (2006) y Salazar y Marcano (2005) para almidones nativos de *D. opposite* y *D. trifida*, reportaron valores inferiores, de 5,6 y 4,2, respectivamente.

En almidones nativos obtenidos de otras raíces y tubérculos tropicales, por ejemplo, almidones de papa analizados por Wishmann y col. (2007) y de apio (*Arracacia xanthorrhiza* B.) estudiados por Pérez y col. (1999), los valores de pH obtenidos fueron similares entre sí y parecidos al reportado para el almidón de ñame nativo; sin embargo, Pérez y Pacheco (2005), al evaluar almidones nativos de batata encontraron valores de pH (5,5) y acidez titulable (0,04%) más bajos.

En lo que se refiere a la viscosidad aparente, cuyos resultados se presentan en el cuadro 17, se puede apreciar que al incrementar la fuerza de corte a la temperatura considerada, se observó una disminución de todos los valores obtenidos para cada una de las suspensiones de almidones de ñame en estudio, lo cual denota el carácter pseudoplástico de estas suspensiones (Pangborn y col., 1988; Mohameed y col., 2006)

La disminución en los valores de viscosidad se explica por la degradación por fricción de las moléculas que componen el almidón, es decir de las moléculas de amilosa y amilopectina, que disminuyen su capacidad de retención de agua

**Cuadro 17.** Viscosidad aparente para el almidón nativo y los almidones modificados de ñame, preparados en una suspensión de 1%, empleando el viscosímetro Brookfield, y la aguja N° 3 ( $\bar{x} \pm ds$ , n= 3).

MUESTRAS	VISCOSIDAD (cps)		
	6 rpm	12 rpm	30 rpm
HARINA	100±0,00a	100±0,00a	60±0,00a
ALMIDÓN NATIVO	800±0,00c	350±0,00c	210±0,00c
ALMIDÓN PRE-GELATINIZADO <sup>1</sup>	500±0,00b	200±0,00b	80±0,00b
ALMIDÓN MODIF. ALCALINA <sup>2</sup>	500±0,00b	220±0,00b	93±0,00b
AGSAF <sup>3</sup>	1000±0,00d	500±0,00d	250±0,10c

Los valores promedio con la misma letra en una misma columna no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza y de rango múltiple ( $p \leq 0,05$ ; n=3).

1: Almidón tratado a 80°C x 3horas.

2: Almidón modificado con una solución de hidróxido de sodio 0,05 M.

3: Almidón granular soluble en agua fría, tratamiento alcohólico-alcálico.

(Nkala, 1994; Rao y col., 1997; Sandoval y col., 2007).

El mismo comportamiento fue observado por Lauzon y col. (1995) y Mali y col. (2005) en otras suspensiones de almidones de ñame nativo, por Bello y col. (2002a) en almidones nativos y modificados de plátano, por González y Pérez (2003) en almidones de yuca pregelatinizados, y por Sandoval y col. (2007), en suspensiones de almidones extruidos de yuca.

La viscosidad aparente determinada para las suspensiones de almidones de ñame en estudio mostraron diferencias estadísticamente significativas, ya que los almidones de ñame pregelatinizados y modificados por hidrólisis alcalina presentaban valores inferiores al almidón nativo, mientras que en los almidones granulares solubles en agua fría (AGSAF), los valores de viscosidad eran superiores al resto de las suspensiones de almidón, a cada una de las diferentes velocidades de corte evaluadas.

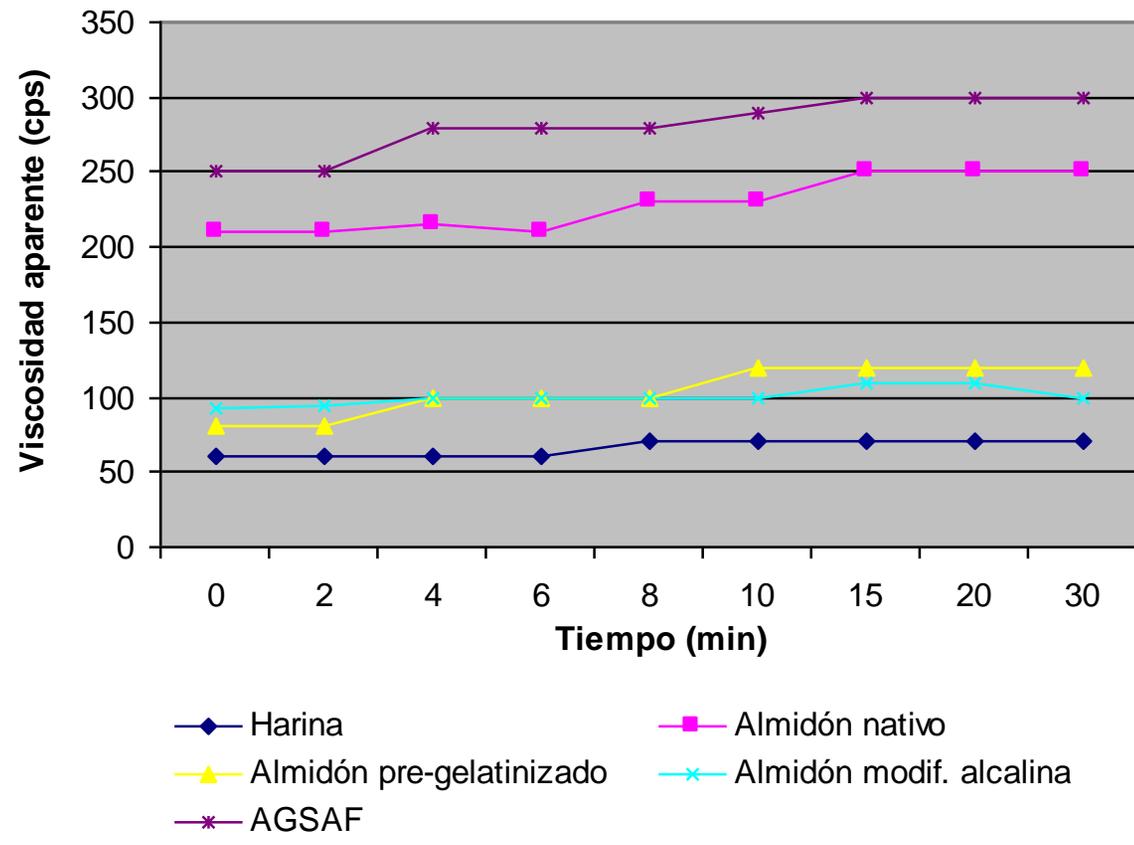
Esta misma tendencia fue reportada por González y Pérez (2003), quienes al evaluar la viscosidad en almidones de yuca pregelatinizados, tratados con microondas observaron una disminución de la viscosidad en relación al almidón nativo; mientras que Colonna y col. (1987), también observaron una disminución de la viscosidad intrínseca en muestras de almidón de trigo pregelatinizado, y atribuyeron este comportamiento a la degradación de los componentes del almidón en macromoléculas de menor peso molecular.

Por su parte, Chen y Jane (1994) y Bello y col. (2002a), al evaluar suspensiones de AGSAF de amilo maíz, maíz céreo, y plátano, respectivamente, obtuvieron viscosidades superiores a la de sus almidones nativos, al igual que los almidones de ñame en estudio, debido a que este tipo de modificación incrementa la capacidad de retención de agua, ya que aumenta el número de enlaces intermoleculares establecidos entre las moléculas de agua y las macromoléculas de almidón (amilosa y amilopectina), (Chen y Jane, 1994; Chang y col., 2004).

En la Figura 25, se muestra el comportamiento de la viscosidad de las suspensiones de almidones de ñame en estudio, en relación al tiempo, a una velocidad de corte constante (30 rpm), donde se puede observar que en líneas generales, la viscosidad aparente fue similar durante los 30 minutos que duró el tratamiento, lo cual indica la estabilidad de las pastas de almidón en el tiempo. Esta tendencia fue similar a la reportada por Bello y col. (2002a), al evaluar suspensiones de almidón nativo y de AGSAF de plátano y maíz ceroso a una velocidad constante (20 rpm) a través del tiempo.

## **2.2.- Composición química del almidón de ñame nativo y de los almidones modificados.**

En el Cuadro 18 se presentan los resultados obtenidos para la composición química de los almidones, la cual determina su grado de pureza. Por lo tanto, su consideración es importante al momento de evaluar sus propiedades funcionales o reológicas, ya que éstas pueden verse afectadas en función de la cantidad de



**Figura 25.** Viscosidad aparente de las suspensiones de harina, almidón nativo y almidones modificados a través del tiempo, a una velocidad de deformación constante (30 rpm).

**Cuadro 18.** Composición química en base seca (g / 100 g) del almidón nativo y de los almidones modificados de ñame (*Dioscorea alata*) ( $\bar{x} \pm ds$ , n= 3).

<b>MUESTRAS</b>	<b>Humedad</b>	<b>Cenizas</b>	<b>Proteína cruda</b>	<b>Fibra dietética</b>	<b>Grasa cruda</b>	<b>Almidón</b>	<b>Amilosa</b>	<b>Polifenoles</b>
Almidón nativo de ñame	11,60±0,19c	0,43±0,02a	0,33±0,02a	0,54±0,08b	0,05±0,02a	94,67±0,42b	27,50±1,64a	0,05±0,00a
Almidón de ñame PG <sup>1</sup>	10,28±0,12a	0,20±0,02a	0,20±0,05a	0,18±0,03a	0,06±0,09a	96,31±0,54b	32,35±0,29a	0,04±0,00a
Almidón de ñame MA <sup>2</sup>	10,73±0,05b	0,24±0,04a	0,24±0,04a	0,15±0,05a	0,00±0,00a	95,64±0,76b	30,01±0,36a	0,00±0,00a
AGSAF <sup>3</sup> de ñame	10,63±0,08b	0,20±0,02a	0,20±0,02a	1,20±0,03c	0,00±0,00a	98,27±0,37c	27,80±0,21a	0,00±0,00a

Los valores promedio con la misma letra en una misma fila no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza y de rango múltiple ( $p \leq 0,05$ ; n=3).

1: Almidón de ñame pre-gelatinizado

2: Almidón modificado con una solución de hidróxido de sodio 0,05 M.

3: Almidón granular soluble en agua fría, tratamiento alcohólico-alcalino.

impurezas o componentes no amiláceos presentes (Araujo y col., 2004; Blanco y col., 2004).

En cuanto al contenido de humedad, determinado para cada uno de los almidones evaluados, se puede apreciar que existen diferencias estadísticamente significativas entre muestras, ya que el almidón pregelatinizado fue el que presentó el valor más bajo (10,28), en cambio, el almidón nativo presentó el mayor contenido de humedad (11,60%). No obstante, a pesar de las diferencias existentes, todas las muestras evaluadas se encontraban dentro del rango de humedad recomendado por Thomas y Atwell (1999) y Pérez y Pacheco, (2005), lo cual permite predecir que tendrán una gran estabilidad en el tiempo.

El menor contenido de humedad del almidón pregelatinizado, posiblemente se debe a que éste fue obtenido a partir de la harina de ñame, por lo tanto, los gránulos de almidón pregelatinizados fueron expuestos a temperaturas de secado más elevadas y por un mayor período de tiempo que el resto de los almidones en estudio, obtenidos directamente de la porción comestible del tubérculo o en su efecto del almidón nativo.

En estudios previos, al evaluar almidones nativos extraídos a partir de diferentes especies de *Dioscoreas*, Amani y col. (2005), Chou y col. (2006) y Jayakody y col. (2007), encontraron valores para el contenido de humedad similares a los obtenidos en el presente estudio; en cambio, Hoover y Vasanthan (1994) y Gunaratne y col. (2002) presentaron valores más altos, de 11,80 y

12,30%, respectivamente, atribuidos posiblemente a diferencias en los procesos de extracción (Takeda y col., 1986; García y Raleigh, 1998; Hoover, 2001) y a la utilización de diferentes variedades de ñame, con almidones que presentan una mayor capacidad de retención de agua (Merca y Juliano, 1981; Lauzón y col., 1995)

En lo que se refiere al contenido de proteína y grasa cruda, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre muestras. El bajo contenido de grasa (menor a 0,06%) determinado en los almidones en estudio, conjuntamente con los bajos valores de proteína cruda (entre 0,20 y 0,33%), determinan el alto grado de pureza de los almidones extraídos, y además garantizan que no existan cambios significativos en el sabor, olor y color de los mismos (Muzac y col., 1993; Thomas y Atwell, 1999; Lawal, 2004; Jayakody y col., 2007).

En el supuesto, de que el contenido de proteínas y grasa cruda en los almidones nativos y modificados e ñame fuera elevado, esto debería atribuirse a deficiencias durante la etapa de extracción, y específicamente durante las fases de lavado y centrifugado (Peterson y col., 1986; Nkala y col., 1994; Pérez y Pacheco, 2005).

Los valores de proteína obtenidos para cada uno de los almidones de ñame en estudio, fueron similares a los reportados para almidones de diversas especies de *Dioscorea*, evaluados por Ravindran y Wanasundera (1992); Araujo y col. (2004) y Jayakody y col. (2007), y a los determinados para almidones de algunas

variedades de batata, evaluadas por García y Raleigh (1998).

Sin embargo, en investigaciones realizadas en almidones obtenidos a partir de otras raíces y tubérculos, se obtuvieron valores de proteína más bajos, tal es el caso de Madhusudhan y col. (1993) en almidones de diferentes variedades de batata (entre 0,05 a 0,15%); Martínez y col. (2005) en almidón pregelatinizado de yuca (0,18%) y McPerson y Jane (1999) en almidón de papa nativo (0,16%). En cambio, Pérez y col. (2005), al determinar el contenido de proteínas en almidones de *X. sagittifolium* y *C. esculenta*, obtuvieron valores superiores, de 0,56 y 0,53%, respectivamente.

Cabe destacar, que a pesar de que no existen diferencias estadísticamente significativas para el contenido de proteína determinado entre las muestras de almidón nativo y modificados, se puede apreciar que los valores correspondientes al almidón nativo son ligeramente superiores (0,33%). Esto podría atribuirse al hecho de que los procesos de modificación de almidones, haciendo uso de tratamientos alcalinos, están en la capacidad de extraer las proteínas llamadas integrales, las cuales se encuentran unidas covalentemente al complejo amilosa-amilopectina (Beyer y col., 1987; Wooton y Ho, 1989; Thomas y Atwell, 1999).

El contenido de materia grasa encontrado en el almidón nativo y en los almidones modificados de ñame (< 0,06%) fueron similares a lo reportado por Hoover (2001) para almidones de diferentes raíces y tubérculos tropicales, y por Freitas y col. (2004) para almidones de *D. alata* y *Manihot esculenta*. No obstante,

Jayakody y col. (2007) al determinar el contenido de lípidos totales (superficiales y enlazados) en variedades de *D. esculenta* y *D. alata* encontraron entre 0,36 y 0,47% de materia grasa, respectivamente.

En relación al contenido de cenizas, se puede observar que tampoco hubo diferencias estadísticamente significativas entre muestras, y los resultados obtenidos (entre 0,20 y 0,43%), se encuentran en el rango establecido por Pérez (1996) y Sriroth y col. (2000) para el contenido de cenizas en almidones comerciales.

Estos resultados fueron similares a los reportados por Araujo y col. (2004), para almidones de *D. bulbifera* (0,26%); Jayakody y col. (2007), para almidones de diferentes variedades de *D. alata* y *D. esculenta* (entre 0,13 y 0,32%, respectivamente); Tetchi y col. (2007) para almidones de *D. alata* (0,38%); Pérez y Pacheco (2005) para almidones nativos de batata (0,39%), Atichokudomchai y col. (2000) para almidones nativos y modificados de yuca (entre 0,25 y 0,41%) y Blanco y col. (2004) para almidones nativos de yuca (0,35%).

No obstante, en los almidones nativos y modificados, el contenido de cenizas varía ampliamente en función de la fuente botánica, del método de extracción y del tipo de modificación (Sriroth y col., 2000).

En cuanto al contenido de fibra dietética determinado en los almidones granulares solubles en agua fría (1,20%), éste fue superior al resto de los

almidones evaluados (< 0,20%) y al reportado en estudios previos para almidones obtenidos a partir de ñame y de otras raíces y tubérculos tropicales, tal es el caso de Gebre y col. (1998), Farhat y col. (1999), Chou y col. (2006), Pérez y col. (1999), Araujo y col. (2004) y Pérez y col. (2005),

El incremento en el contenido de fibra dietética, observado en los AGSAF de ñame, posiblemente se debe a que este tipo de modificación química provocó la formación de enlaces glucosídicos diferentes a los  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4) y  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 6) (enlaces cruzados), y a la presencia de grupos sustituyentes, que disminuyen su disponibilidad para las enzimas amilolíticas, reduciendo también la digestibilidad del almidón y generando la formación de almidón resistente, que se incluye dentro de la fracción de fibra dietética (Robyt y col., 1996; Chang y col., 2004; Aguirre y col., 2007).

Como era de esperarse, el contenido de almidón determinado en las muestras de almidón nativo (94,67%) y de almidones modificados (entre 95,64 y 98,27%, dependiendo el tipo de modificación), fueron elevados. No obstante, los almidones granulares fueron los que presentaron un mayor contenido de almidón (98,27%), lo cual podría atribuirse al método de modificación empleado, ya que durante el tratamiento con hidróxido de sodio y etanol, se favorece la solubilización de una mayor cantidad de proteínas que rodean los gránulos de almidón (Chen y Jane, 1994; Bello y col., 2002a), las cuales son retiradas en la fase de lavado, permitiendo así la obtención de almidones con mayor grado de pureza.

En cuanto al contenido de amilosa, su determinación es realmente importante, ya que permite predecir el comportamiento reológico de las suspensiones de almidón, determinar las condiciones de procesamiento más idóneas de acuerdo al tipo de almidón empleado y evaluar la calidad de diferentes productos alimenticios (Aspinal, 1983; Cairns y col., 1997; Chun y col., 1997; Pérez y col., 2005). La fracción de amilosa, imparte características definitivas al almidón, y por lo tanto, su concentración es considerada un criterio de calidad importante (Beyer, 1987; Carr, 1993; Peshin, 2001).

Los valores correspondientes a la cantidad de amilosa presente, determinados para los diferentes tipos de almidones, no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre muestras, ya que se obtuvieron valores promedio cercanos al 30%.

Estos resultados fueron similares a los determinados por otros autores: 28% de amilosa para almidón nativo de maíz (Whistler y BeMiller, 1997), 29% para almidón nativo de ñame (McPerson y Jane, 1999), 29,37% en almidón de *D. bulbifera* (Araujo y col., 2004), 27% para almidón de ñame (Hoover y Vasanthan, 1994), 28,5% y 29,8% para almidones de ñame y yuca (Gunaratne y Hoover, 2001), y 30% de amilosa en almidón nativo de ñame (Alves y col., 2002).

En cambio, Freitas y col. (2004), al evaluar el contenido de amilosa en almidones de ñame, obtuvieron un valor promedio superior al reportado en el presente estudio, el cual fue de 36,2%; mientras que Farhat y col. (1999)

obtuvieron valores inferiores, de 23,8; 23,6 y 12,3% para almidones de ñame blanco (*D. rotundata*), de ñame amarillo (*D. cayensis*) y de ñame amargo (*D. dumetorum*), respectivamente. Estas diferencias podrían explicarse por el hecho de tratarse de diferentes especies de *Dioscorea*, por las condiciones de crecimiento de los cultivos, por el método de extracción de almidón o por la metodología empleada en la determinación de amilosa (Gallant y col., 1982; Hoover, 2001; Jayakody y col., 2005)

Por su contenido de amilosa, los almidones de papa (20%), maíz (25%), trigo (25%) (Gallant y col., 1982) y yuca (28%), muy utilizados a nivel comercial (Zaidul y col., 2007), usualmente se consideran formadores de geles, por lo que podría inferirse que los almidones de ñame en estudio, con un mayor contenido de amilosa (30%), probablemente originaran geles mucho más firmes y densos, una vez ocurrido el enfriamiento de la suspensión de almidón gelatinizado, debido a la elevada tendencia de la amilosa a la retrogradación (Leelavathi y col., 1987; Leloup y col., 1992; Lawal, 2004; Amani y col., 2005; Zaidul y col., 2007).

### **3. PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HARINA, DEL ALMIDÓN NATIVO Y DE LOS ALMIDONES MODIFICADOS DE ÑAME (*D. alata*).**

#### **3.1.- Absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento.**

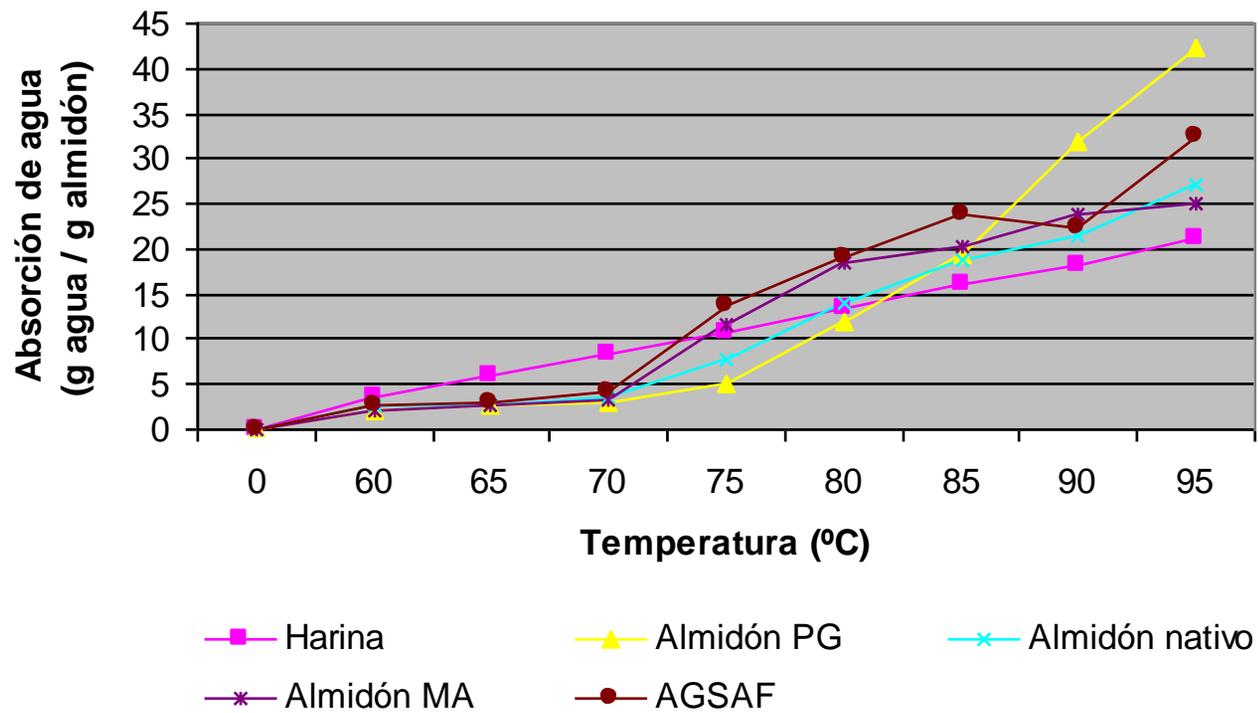
Cuando el almidón se calienta en exceso de agua, los puentes de hidrógeno que estabilizan la estructura cristalina se rompen, y son reemplazados por nuevos

puentes de hidrógeno que se forman con las moléculas de agua, provocando el hinchamiento de los gránulos de almidón y el incremento de su volumen (Aspinal, 1983; Atwell y col., 1988; Tester y Karkalas, 1996; Karim y col., 2008).

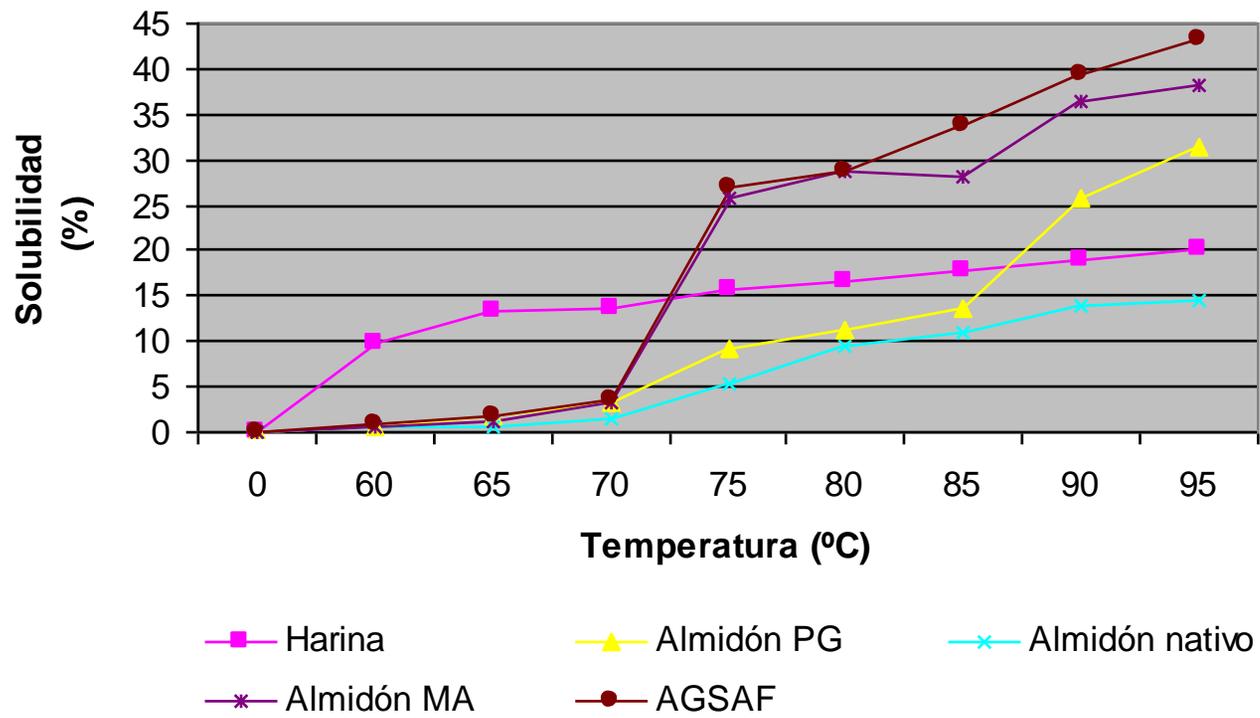
Los resultados obtenidos para cada una de las muestras de harina y almidones evaluadas se presentan en las figuras 26, 27 y 28. Como era de esperarse, al aumentar gradualmente la temperatura, se produce también el incremento gradual en la capacidad de absorción de agua, en la solubilidad en agua y en el poder de hinchamiento, para cada una de las muestras evaluadas, ya que con el incremento de la temperatura se sucede una relajación progresiva de las fuerzas de enlace intragranulares, facilitando así el ingreso de las moléculas de agua al interior del gránulo.

El incremento en la capacidad de absorción de agua y en el poder de hinchamiento de las suspensiones de almidones de ñame nativo y modificados se hace evidente a partir de los 70°C, tal como lo indican Shujun y col. (2006) y Aluko y Koya (2006), para almidones nativos de *D. opposita*, *D. rotundata* y *D. cayenensis*, respectivamente.

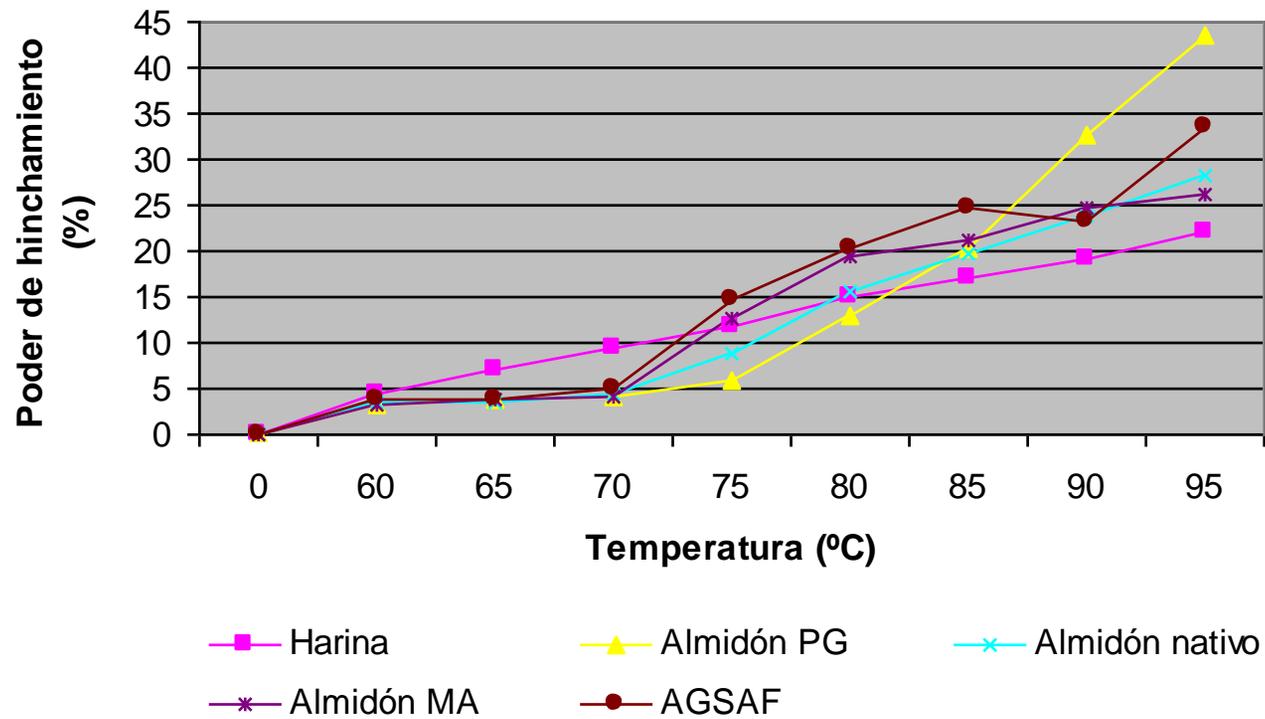
Esta tendencia de las suspensiones de harina y almidones nativo y modificados de ñame en estudio, a incrementar la capacidad de absorción de agua, la solubilidad en agua y el poder de hinchamiento a medida que aumenta la temperatura, también fue reportada por Jayakody y col. (2007), en muestras de almidón nativo de *D. alata* y *D. esculenta*; por Araujo y col. (2004) en almidones de



**Figura 26.** Absorción de agua de la harina y de los almidones de ñame (cada valor representa el promedio de tres determinaciones); (PG: pre-gelatinizado; MA: modificado por tratamiento alcalino; AGSAF: modificado por tratamiento alcohólico-alcalino, granulares solubles en agua fría).



**Figura 27.** Solubilidad en agua de la harina y de los almidones de ñame (cada valor representa el promedio de tres determinaciones); (PG: pre-gelatinizado; MA: modificado por tratamiento alcalino; AGSAF: modificado por tratamiento alcohólico-alcalino, granulares solubles en agua fría).



**Figura 28.** Poder de hinchamiento de la harina y de los almidones de ñame (cada valor representa el promedio de tres determinaciones); (PG: pre-gelatinizado; MA: modificado por tratamiento alcalino; AGSAF: modificado por tratamiento alcohólico-alcalino, granulares solubles en agua fría).

*D. bulbifera*; Amani y col. (2005) en almidones nativos provenientes de cinco variedades de *D. alata*; Zhang y col. (2005) en almidones de banana verde y por Bello y col. (2000a) en suspensiones de almidón nativo y modificado de plátano.

Para temperaturas iguales o superiores a 85°C, la suspensión de almidón de ñame pregelatinizado en estudio fue la que exhibió los mayores valores de absorción de agua (42 g agua / g almidón) y poder de hinchamiento (44%), lo cual es característico de este tipo de muestra como consecuencia de la naturaleza del proceso al que ha sido sometida, ya que los tratamientos térmicos empleados en la obtención de almidones pregelatinizados provocan cambios en la estructura cristalina, principalmente a nivel de las regiones amorfas donde se encuentran ubicadas las moléculas de amilosa, facilitando así el ingreso de agua al gránulo (Stute, 1992; Tagodoe y Nip, 1994; González y Pérez, 2003).

No obstante, cabe destacar que las suspensiones de AGSAF mostraron valores de poder de hinchamiento (34%) y de absorción de agua (33 g agua / g almidón) superiores al almidón nativo (28% y 27 g agua / g almidón). Estos resultados pueden ser una combinación de efectos: ya que las altas temperaturas incrementan el grado de hinchamiento del gránulo porque provocan la ruptura de enlaces intragranulares, mientras que la concentración de etanol permite la incorporación de grupos hidrofílicos (Miles y col., 1985).

Además, Chang y col. (2004) y Karim y col. (2008), indican que durante los tratamientos alcohólico-alcalinos, se produce la disrupción de las regiones amorfas

permitiendo así que el hinchamiento de los gránulos ocurra libremente; y aunado a esto, aparecen cargas negativas sobre las moléculas de almidón debido a la ionización de los grupos hidroxilo, lo cual resulta en un fenómeno de repulsión que facilita el percolamiento del agua en el interior de los gránulos, con un subsiguiente incremento en su tamaño y volumen.

No obstante, la capacidad de hinchamiento de los AGSAF de ñame, también pudiera estar determinada por: i) el contenido de fosfato monoéster (Noda y col., 2004; Srichuwong y col., 2005) y ii) la cantidad de lípidos acomplejados a las moléculas de amilosa (Hoover y Manuel, 1995).

El mayor poder de hinchamiento de las suspensiones de almidón de ñame nativo en estudio (27%) se obtuvo a 95°C, similar a los resultados obtenidos por Leelavathi y col. (1987), Lauzón y col. (1995), Lewandowicz y col. (1997), Peshin (2001), Jayakody y col. (2005) en almidones nativos de diferentes raíces y tubérculos tropicales; inferior al presentado por González y Pérez (2003) y Martínez y col. (2005) en almidones nativos de yuca (40 y 33,8%, respectivamente).

No obstante, el almidón de ñame nativo en estudio reportó un mayor poder de hinchamiento que suspensiones de almidón nativo de maíz (entre 13,7 y 20,7%) y arroz (entre 15 y 20%) (Sandhu y Singh, 2007; Kaur y col., 2008 y Lu y col., 2008).

El menor poder de hinchamiento de las suspensiones de almidón de maíz y arroz, en comparación con los de ñame, papa y yuca, podría explicarse por la existencia de fuerzas asociativas internas muy fuertes en los gránulos de almidón de maíz, y en líneas generales, en los gránulos de los almidones de cereales (Peshin, 2001; Lu y col., 2008); aunque de acuerdo a lo expuesto por Swinkles (1985), Kim y col. (1993) y Madhusudhan y col. (1993), los almidones de la mayoría de las raíces y tubérculos, y principalmente del almidón de papa, se hinchan fácilmente debido a la presencia de grupos fosfatos cargados negativamente.

En cuanto a la solubilidad (Figura 27), los valores más altos para cada una de las muestras evaluadas, se obtuvieron en el rango de temperatura comprendido entre los 75 a 95°C, ya que a medida que se incrementa la temperatura el gránulo gelatiniza, provocando la ruptura del orden molecular intragranular, y la liberación y solubilización de las moléculas de amilosa en el medio dispersante (Coultrate, 1998; Araujo y col., 2004; Mali y col., 2005).

Los valores de solubilidad, obtenidos para los almidones modificados químicamente a partir de 75°C (desde 25 a 45%), fueron superiores a los reportados para la harina de ñame, el almidón nativo y el almidón pregelatinizado (entre 5 a 25%), ya que las modificaciones empleadas provocan una reducción en el grado de cristalinidad por disminución de la capacidad de asociación entre las moléculas de almidón, debilitando la estructura granular, facilitando la lixiviación

de material amiláceo al exterior del gránulo una vez ocurrida la gelatinización (Ma y Robyt, 1987; Bello y col., 2002a; Chang y col., 2004)

Además, este tipo de modificaciones provocan el acortamiento de las cadenas de amilosa y amilopectina (depolimerización), disminuyendo su peso molecular e incrementando su capacidad de dispersión en un medio acuoso (Chen y Jane, 1994; Adebowale y Lawal, 2003).

Los valores de solubilidad obtenidos a 95°C para los almidones de ñame nativo (15%) y pregelatinizado (32%), fueron inferiores a los determinados en diferentes suspensiones de almidón de yuca, ya que Leelavathi y col. (1987) y Abraham (1993) reportaron un 41% y un 39% en almidón nativo de yuca, respectivamente; mientras que González y Pérez (2003) determinaron un 38% en almidón nativo y un 92% en el pregelatinizado.

Estas diferencias estarían determinadas probablemente por la presencia de cadenas de amilosa y amilopectina más cortas en el almidón de yuca que en el de ñame (Hoover, 2001; Schmitz y col., 2006); aunado a que el almidón de yuca presenta un menor grado de cristalinidad u orden intragranular, producto de su menor contenido de amilosa (15 a 17%, según Pérez y col., 2005; y 18% de acuerdo a Zaidul y col., 2007). Por lo tanto, las fuerzas de enlace internas son más débiles, permitiendo con mayor facilidad el ingreso de las moléculas de agua al interior del gránulo y la lixiviación de los componentes moleculares, una vez ocurrida la gelatinización.

No obstante, la solubilidad del almidón de ñame nativo a 95°C (15%), fue similar a los resultados obtenidos en estudios previos, para suspensiones de almidón de maíz nativo con diferentes contenido de amilosa, entre 16,9 a 21,3% (Han y Hamaker, 2000; Singh y Singh, 2007; Lu y col., 2008).

Es decir, a pesar que los almidones nativos de ñame y maíz presentan diferentes contenidos de amilosa, éstos muestran una capacidad de solubilizarse similar a altas temperaturas. Sin embargo, el almidón nativo de yuca, con un menor contenido de amilosa, muestra una mayor solubilidad, ya que posiblemente el material solubilizado una vez ocurrida la gelatinización no es exclusivamente amilosa, sino que existen otros componentes, tales como amilopectina de bajo peso molecular y fibra soluble, que incrementan su capacidad para solubilizarse (Swinkles, 1985; Urooj y Puttraj, 1999; Schmitz y col., 2006),

El poder de hinchamiento y el índice de solubilidad indican el grado de asociación existente entre los polímeros del almidón (enlaces intragranulares), tanto en las regiones amorfas como en las cristalinas. Esta interacción, a su vez, está determinada por la fracción de amilosa, las características de la amilosa y de la amilopectina en términos de distribución de peso molecular, el grado de ramificación, la longitud de las ramificaciones y la conformación de las moléculas (Ring, 1985; Ratnayake y col., 2002; Srichuwong y col., 2005). Además se ha determinado que ciertos complejos lípido-amilosa restringen el poder de hinchamiento y la solubilización (Hoover y Hadziyev, 1981; Rao y col., 1997)

### **3.2.- Solubilidad en agua fría.**

Los resultados obtenidos para la solubilidad en agua fría de la harina de ñame, y de sus almidones nativo y modificados se presentan en el Cuadro 19, donde se puede observar que existen diferencias significativas para cada una de las muestras evaluadas.

El valor más bajo se obtuvo para la muestra de almidón de ñame nativo (7,18%), el cual fue incluso inferior al reportado para la harina (14,22%); esta diferencia posiblemente se atribuye a la presencia de ciertos compuestos químicos en la harina, tales como las proteínas, que al estar acomplejadas a la fracción de almidón, pudieran estar incrementando su solubilidad a temperatura ambiente (Biliaderis, 1991; Chen y Jane, 1994b; Bello y col., 2002a).

Sin embargo, a pesar que el resultado obtenido para el almidón de ñame nativo fue inferior al resto de las muestras evaluadas, éste es relativamente alto, al compararlo con los reportados por Salinas y col. (2003) para almidones nativos de maíz, ya que dichos investigadores obtuvieron valores comprendidos entre 0,10 y 0,16% de solubilidad en agua fría. Esta baja solubilidad de los gránulos de almidón de maíz, posiblemente está determinada por la existencia de un mayor grado de orden intragranular, que dificulta la dispersión en agua de los componentes moleculares del gránulo (Howling, 1980; Cooke y Gidley, 1992; Han y Hamaker, 2000; Freitas y col., 2004).

**Cuadro 19.** Solubilidad en agua fría de la harina, del almidón nativo y de los almidones modificados de ñame (*D. alata*), ( $\bar{x} \pm ds$ , n= 3).

<b>MUESTRAS</b>	<b>SOLUBILIDAD EN AGUA FRÍA (g / 100 g)</b>
Harina	14,22±0,59b
Almidón nativo	7,18±0,05a
Almidón PG <sup>1</sup>	18,88±0,06c
Almidón MA <sup>2</sup>	20,45±0,02c
AGSAF <sup>3</sup>	33,07±0,02d

Los valores promedio con la misma letra en una misma columna no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza y de rango múltiple ( $p \leq 0,05$ ; n=3).

1: Almidón de ñame pre-gelatinizado

2: Almidón modificado con una solución de hidróxido de sodio 0,05 M.

3: Almidón granular soluble en agua fría, tratamiento alcohólico-alkalino.

En cambio, los almidones sometidos a tratamiento alcohólico-alcalino o granulares solubles en agua fría (AGSAF), fueron los que reportaron los valores de solubilidad más altos (33,07%).

Esta capacidad de los AGSAF de solubilizarse a temperaturas más bajas que el resto de las muestras evaluadas, se justifica por lo siguiente: i) la incorporación de bajas concentraciones de etanol (<40%) disminuye el número de asociaciones entre cadenas de almidón, facilitando su dispersión en agua y ii) ocurre la depolimerización de las cadenas de amilosa y amilopectina, permitiendo que dichos componentes se muevan rápidamente y con mayor facilidad hacia el medio dispersante, sin necesidad de que ocurra la gelatinización para provocar la ruptura de los gránulos (Agboola y col., 1991; Chen y Jane, 1994; Adebawale y Lawal, 2003).

Los resultados obtenidos por otros investigadores fueron similares a los reportados en el presente estudio, ya que Bello y col. (2002a) reportaron valores de 19,7 y 22,3% para AGSAF de maíz y plátano, respectivamente; mientras que Chen y Jane (1994) para un almidón granular de maíz obtuvieron valores promedio de 22,5%.

El hecho de que estos almidones estén en la capacidad de solubilizarse a temperatura ambiente, los convierte en agentes espesantes ideales para la preparación de productos instantáneos, tales como pudines, rellenos para tortas y bebidas, entre otros.

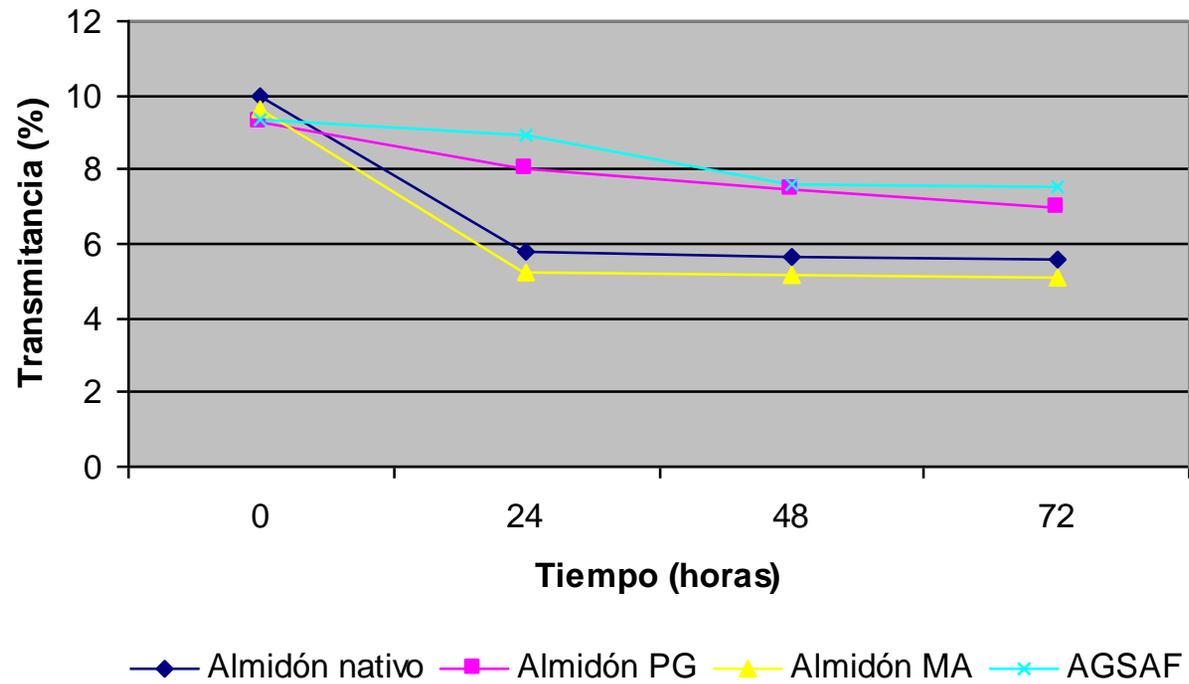
### 3.3.- Estabilidad y claridad de las pastas.

En la Figura 29 se presentan los resultados obtenidos para el porcentaje de transmitancia determinado para cada una de las pastas de almidones de ñame evaluadas a temperatura ambiente, mientras que en la Figura 30 se muestran los porcentajes de transmitancia evaluados a 4°C, por un período de 72 horas.

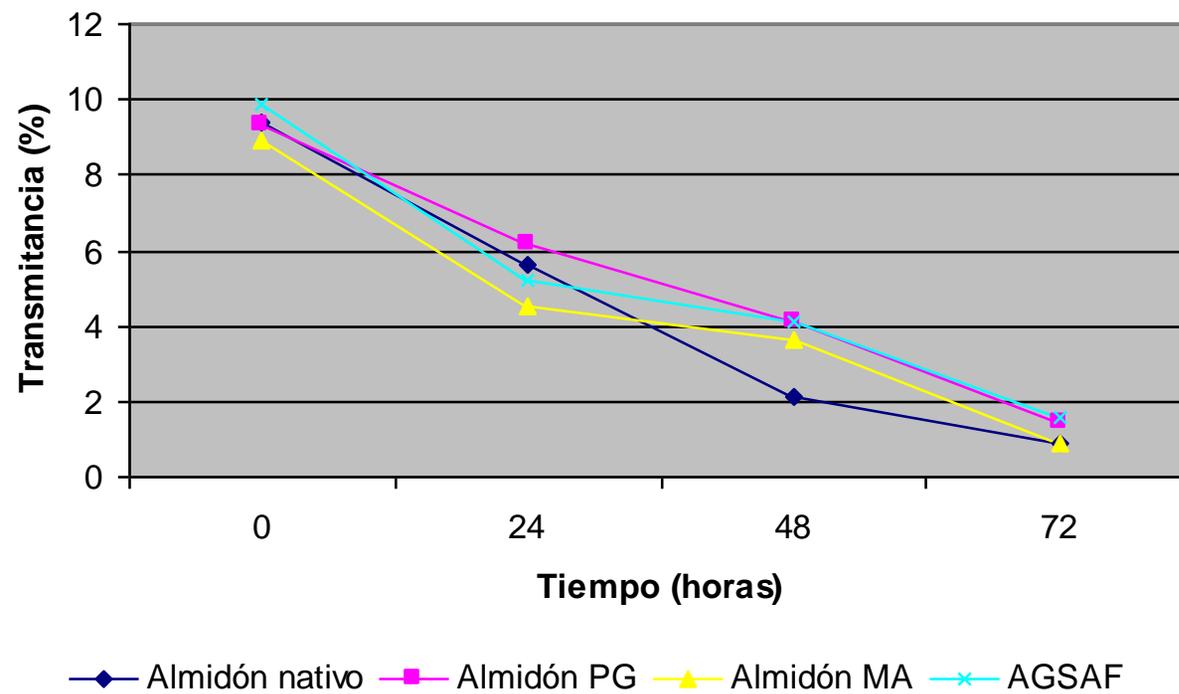
Al observar los valores de transmitancia obtenidos a temperatura ambiente (Figura 29), se puede notar que éstos permanecen casi constantes a través del tiempo para todas las muestras de almidones evaluadas; mientras que a 4°C (Figura 30), se observa que la transmitancia determinada para cada una de la muestras, iba en descenso a medida que transcurría el tiempo, desde valores cercanos a 10% hasta valores próximos al 1%.

Esta disminución en el porcentaje de transmitancia, cuando las muestras en estudio fueron sometidas a bajas temperaturas, probablemente se debe al proceso de retrogradación que experimentan las moléculas de almidón, y principalmente la fracción de amilosa, una vez ocurrida la gelatinización, en la fase de enfriamiento (Jacobson y col., 1997; Bello y col., 2000a; Ishiguro, 2000).

No obstante, Amani y col. (2005), al evaluar la estabilidad y claridad de las pastas de almidones nativos, obtenidos a partir de cinco cultivares de *D. alata*, once cultivares de *D. cayenensis-rotundata*, un cultivar de *D. dumetorum* y cuatro clones de *D. esculenta*, determinaron que la disminución en los valores de



**Figura 29.** Claridad (% T a 650 nm) a temperatura ambiente de las pastas de almidón nativo y de los almidones modificados de ñame (*D. alata*); (PG: pre-gelatinizado; MA: modificado por tratamiento alcalino; AGSAF: modificado por tratamiento alcohólico-alcalino, granulares solubles en agua fría).



**Figura 30.** Claridad (% T a 650 nm) a 4°C de las pastas de almidón nativo y de los almidones modificados de ñame (*D. alata*); (PG: pre-gelatinizado; MA: modificado por tratamiento alcalino; AGSAF: modificado por tratamiento alcohólico-alcalino, granulares solubles en agua fría).

transmitancia por efecto del almacenamiento en refrigeración no sólo se debe a la gelificación de las moléculas de amilosa liberadas a partir de los gránulos durante la gelatinización, sino que también está determinada por la recristalización de la amilopectina.

En este estudio, el almacenamiento bajo refrigeración pudo resultar en la formación de cristales menos perfectos que los formados a temperatura ambiente, pero debido al contenido de amilosa (entre 25 y 30%) en los almidones analizados, la agregación de las cadenas de amilosa pudo haberse desarrollado a gran velocidad, disminuyendo el %T significativamente. También el tiempo de almacenamiento es responsable de la disminución del %T, porque después de cierto tiempo la propagación y maduración de los cristales en la fracción de amilopectina puede verse favorecida, incrementando la retrogradación de la muestra (Liu y col., 1998; Meza y col., 2001).

Es decir, que la temperatura de almacenamiento a 4°C provoca la formación de cristales menos perfectos que los constituidos cuando se almacenan las muestras a temperatura ambiente; y la agregación de las cadenas de amilosa se realiza a una mayor velocidad a bajas temperaturas, lo cual disminuye drásticamente los valores de transmitancia.

Por otra parte, al comparar los resultados obtenidos entre muestras, a las 0, 24, 48 y 72 horas de formadas las pastas, se puede apreciar que existen diferencias estadísticamente significativas, ya que en las muestras mantenidas a

temperatura ambiente, las suspensiones de almidón pregelatinizado y de almidón granular (AGSAF), fueron las que presentaron los valores más altos de transmitancia, y por ende, una menor tendencia a la retrogradación; mientras que a temperatura de refrigeración, el mayor % de transmitancia se obtuvo para los AGSAF (Cuadro 20).

La menor tendencia a la retrogradación, experimentada por los almidones pregelatinizados y granulares solubles en agua fría, podría atribuirse al tipo de modificación empleada. En el caso del almidón pregelatinizado, la estructura del almidón se pierde por efecto del tratamiento térmico, lo que dificulta el reordenamiento de las moléculas constituyentes (amilosa y amilopectina) (Colonna y col., 1984; García y col., 1997; Jacobs y Delcour, 1998).

En cambio, en los AGSAF, la introducción de pequeñas cantidades de grupos sustituyentes, provoca el debilitamiento de los gránulos de almidón, estabilizando las dispersiones y previniendo el alineamiento y retrogradación de las moléculas, favoreciendo la formación de geles suaves que no experimentan sinéresis (Robyt y col., 1996; Chang y col., 2004).

Sin embargo, cabe destacar que de acuerdo a la clasificación presentada por Chen y Jane (1994) y Amani y col. (2005), todos los almidones de ñame en estudio (nativo y modificados) se consideran como susceptibles a experimentar retrogradación en el enfriamiento, al compararse con los almidones provenientes de otras raíces y tubérculos tropicales, debido a los bajos valores de transmitancia

**Cuadro 20.** Estabilidad y claridad (% Transmitancia a 650 nm) a temperatura ambiente y a 4°C de las pastas de almidón nativo y de los almidones modificados de ñame (*D. alata*) ( $\bar{x} \pm ds$ , n= 3).

MUESTRAS		TRANSMITANCIA (%)			
		0 horas	24 horas	48 horas	72 horas
Almidón nativo	T. amb.	9.96±0,02 <sup>a</sup>	5.77±0,07 <sup>b</sup>	5,64±0,01 <sup>b</sup>	5,61±0,01 <sup>b</sup>
	4°C	9,39±0,02 <sup>a</sup>	5,59±0,04 <sup>b</sup>	2,14±0,02 <sup>d</sup>	1,45±0,03 <sup>c</sup>
Almidón PG <sup>1</sup>	T. amb.	9,29±0,04 <sup>a</sup>	8,00±0,08 <sup>a</sup>	7,47±0,02 <sup>a</sup>	7,00±0,11 <sup>a</sup>
	4°C	9,30±0,02 <sup>a</sup>	6,18±0,18 <sup>b</sup>	4,09±0,11 <sup>c</sup>	0,88±0,02 <sup>d</sup>
Almidón MA <sup>2</sup>	T. amb.	9.60±0,02 <sup>a</sup>	5,21±0,12 <sup>c</sup>	5,19±0,05 <sup>b</sup>	5,12±0,04 <sup>b</sup>
	4°C	8,93±0,10 <sup>a</sup>	4,51±0,03 <sup>c</sup>	3,63±0,05 <sup>d</sup>	0,91±0,02 <sup>d</sup>
AGSAF <sup>3</sup>	T. amb.	9,36±0,03 <sup>a</sup>	8,90±0,01 <sup>a</sup>	7,57±0,01 <sup>a</sup>	7,51±0,02 <sup>a</sup>
	4°C	9,86±0,04 <sup>a</sup>	5,21±0,05 <sup>c</sup>	4,11±0,02 <sup>c</sup>	1,57±0,02 <sup>c</sup>

Los valores promedio con la misma letra en una misma columna no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza y de rango múltiple ( $p \leq 0,05$ ; n=3).

1: Almidón de ñame pre-gelatinizado

2: Almidón modificado con una solución de hidróxido de sodio 0,05 M.

3: Almidón granular soluble en agua fría, tratamiento alcohólico-alcálico.

obtenidos a las 72 horas de almacenamiento bajo refrigeración (entre 0,88 y 1,57%), ya que para señalar que una suspensión de almidón no experimenta retrogradación, sus geles deben ser claros y transparentes, con un porcentaje de transmitancia mayor a 40%. No obstante, cabe destacar que a pesar de tratarse de suspensiones opacas, durante el almacenamiento de las mismas en refrigeración, los AGSAF de ñame no experimentaron sinéresis.

Este comportamiento de los almidones de ñame, caracterizado por la presencia de geles opacos y por su elevada tendencia a la retrogradación, también fue reportado por Schmitz y col., (2006) en almidones de maíz con un contenido de amilosa similar al de los almidones en estudio (27%); es decir, que aparentemente la estabilidad y claridad de las pastas de almidón provenientes de ambas fuentes botánicas, estaría determinadas por la proporción bajo la cual se encuentra las fracciones de amilosa y de amilopectina (Howling, 1980; Craig y col., 1989; Ortega y Eliasson, 2001).

Cabe destacar, que el incremento progresivo en los valores de turbidez para las suspensiones de almidón, durante su almacenamiento a 4°C, también ha sido atribuido a la interacción de otros factores, entre los cuales se pueden mencionar, la capacidad de hinchamiento del gránulo, la presencia de residuos de componentes granulares, el grado de ramificación de la fracción de amilopectina, la longitud de las cadenas de amilosa y amilopectina, la presencia de lípidos intra o interenlazados, y el grado de sustitución en la obtención de almidones

modificados (Jacobson y col., 1997; Yuan y Thompson, 1998; Singh y Singh, 2007).

El comportamiento observado para los almidones de ñame en estudio, fue similar al reportado por Amani y col. (2005) en geles de almidón obtenidos a partir de diferentes especies de *Dioscoreaceae*, y al presentado por Bello y col. (2002a) en almidones de plátano granulares, ya que los valores de transmitancia obtenidos en dichos estudios también disminuían a medida que transcurría el tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente y en refrigeración. Sin embargo, en almidones granulares de maíz este comportamiento sólo se hizo evidente a temperaturas de 4°C (Chen y Jane, 1994).

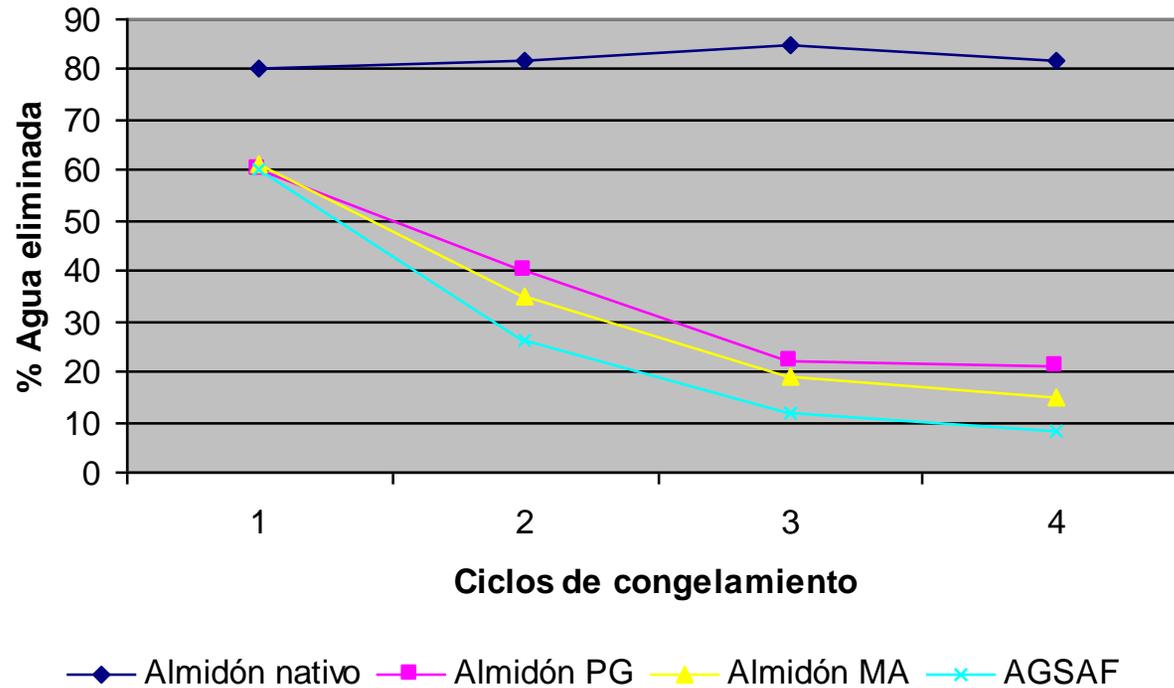
No obstante, los resultados obtenidos bajo condiciones de refrigeración, fueron inferiores a los determinados por Peshin (2001) en almidones de papa (18,6% de amilosa) y Schmitz y col. (2006) en almidones de yuca (15,65% de amilosa), quienes luego de 72 horas de tratamiento obtuvieron valores de transmitancia próximos al 10%. Las diferencias existentes podrían atribuirse a los diferentes contenidos de amilosa, ya que los geles con una menor transmitancia (ñame), provienen de almidones con una mayor proporción de amilosa (entre 27,5 y 32,35%).

### **3.4.- Estabilidad al congelamiento y deshielo de las pastas.**

Los productos alimenticios que van a ser sometidos a almacenamiento refrigerado o bajo congelación, deben mantener su composición química y su estructura física estables a bajas temperaturas y a través del tiempo. Ciertos almidones modificados, y especialmente los almidones eterificados, han sido considerados como “ideales” para estas aplicaciones, mejorando significativamente la consistencia de productos refrigerados y congelados (Swinkles, 1985; Perera y Hoover, 1999; Singh y col., 2007).

Por lo tanto, en vista de la importancia que ha adquirido el desarrollo de productos alimenticios capaces de mantenerse estables a bajas temperaturas, se evaluó la resistencia de las suspensiones de almidón de ñame en estudio a diversos ciclos de congelamiento y deshielo.

En general, al observar los resultados obtenidos (Figura 31), se puede apreciar que la estabilidad al congelamiento-deshielo del almidón de ñame nativo se incrementó en cada uno de los almidones modificados evaluados, durante los cuatro ciclos de congelamiento en estudio, pero dicha estabilidad fue aún mayor aquellos almidones sometidos a tratamiento alcohólico-alcálico (AGSAF).



**Figura 31.** Estabilidad al congelamiento y deshielo (% agua eliminada) de las pastas de almidón nativo y de los almidones modificados de ñame (*D. alata*); (PG: pre-gelatinizado; MA: modificado por tratamiento alcalino; AGSAF: modificado por tratamiento alcohólico-alcalino, granulares solubles en agua fría).

El almidón de ñame nativo presentó una baja estabilidad al congelamiento debido a la gran cantidad de agua que eliminó durante el experimento, mientras que los AGSAF de ñame tuvieron mayor estabilidad, ya que eliminaron el nivel más bajo de agua durante el tercer y cuarto ciclo de congelamiento-deshielo (10 y 9%, respectivamente).

Los almidones pregelatinizados (PG) y sometidos a tratamiento alcalino (MA), eliminaron el 60% del agua en el primer y segundo ciclo, mientras que en el tercer y cuarto el porcentaje de agua separado fue más bajo (22 y 21% para el PG y 20 y 17% para el MA), lo que también muestra una gran estabilidad de los mismos, principalmente en los dos últimos ciclos. En cambio, el almidón nativo no mostró cambios importantes durante los cuatro ciclos del experimento (con valores de pérdida de agua entre 80 y 83%).

Cuando se prepararon los AGSAF, posiblemente se generó una depolimerización de las moléculas de amilosa y amilopectina generando moléculas más lineales. Por tanto, es factible que se haya presentado un fenómeno de agregación gradual de las cadenas lineales formando una malla que disminuyó la cantidad de agua separada (Chen y Jane, 1994; Yuan y Thompson, 1998)

Los resultados obtenidos para el almidón nativo, fueron similares a los determinados por Tetchi y col. (2007), quienes al evaluar almidones de ñame

reportaron valores de 78% de agua eliminada luego de tres ciclos de congelamiento.

En cuanto a los almidones granulares solubles en agua fría, los resultados fueron similares a los reportados por Schmitz y col. (2006) en almidones de maíz y yuca eterificados (dihidroxipropilados) luego de 6 ciclos de congelamiento y deshielo, los cuales presentaron una gran estabilidad, con valores de sinéresis comprendidos entre 5,3 y 7%. Sin embargo, al evaluar sus respectivos almidones nativos, la estabilidad se vio disminuida (60 a 72% de sinéresis). Un comportamiento similar fue observado por Kaur y col. (2004), al evaluar almidones dihidroxipropilados (DHPS) de papa (8 % de sinéresis).

Esta misma tendencia, fue observada por Bello y col. (2002a) al determinar el porcentaje de sinéresis de AGSAF de plátano (menor a 1%) y compararlo con el comportamiento de suspensiones de almidón nativo (10%). Sin embargo, cabe destacar que al estudiar suspensiones de almidón de maíz nativo y de almidón de maíz granular soluble en agua fría, los AGSAF mostraron una menor estabilidad que el nativo (menor a 1 % para el nativo y de 20% para el almidón de maíz granular), durante todos los ciclos de congelamiento en estudio.

Las diferencias observadas en el comportamiento de las suspensiones de AGSAF provenientes de diferentes fuentes botánicas, permite suponer que los geles con un menor contenido de amilosa (almidón de plátano), son más resistentes a la sinéresis después del proceso de refrigeración y congelación con

valores que varían entre 0 y 4% de sinéresis, mientras que el gel de maíz con un mayor contenido de amilosa expresan un valor de sinéresis cercano al 20%.

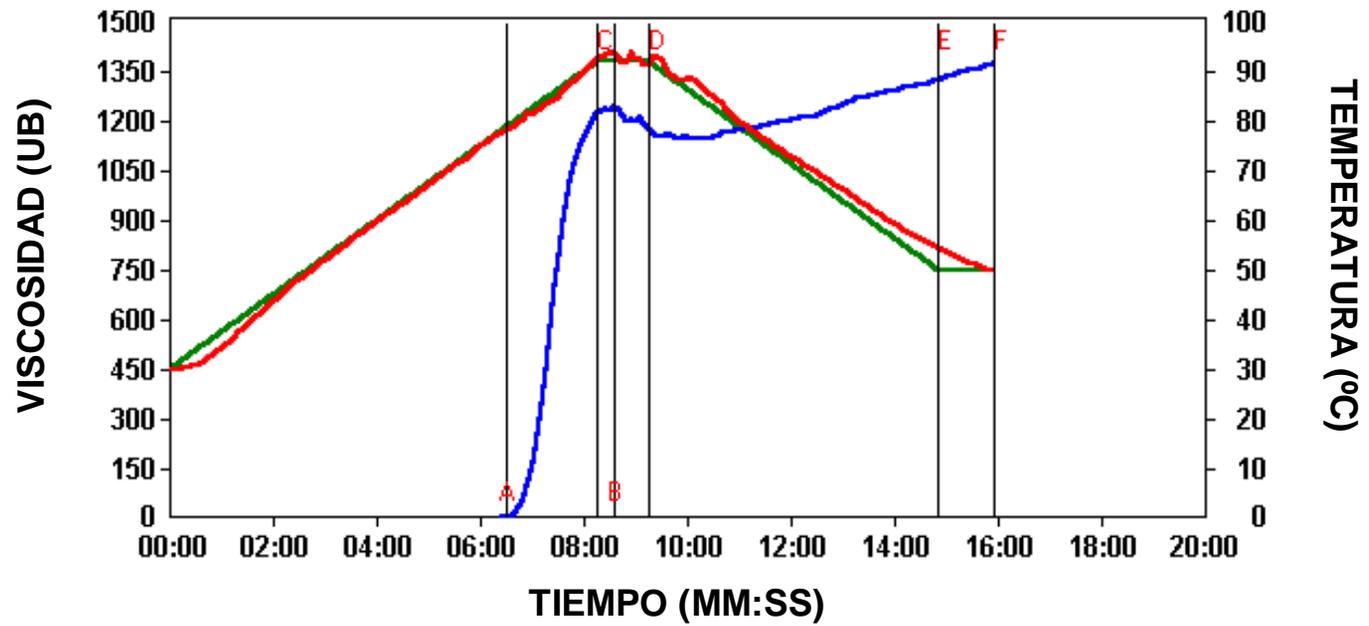
Cabe destacar que de acuerdo a lo establecido por Jayakody y col. (2005), los geles de almidones de ñame, pueden presentar un comportamiento ligeramente diferente en los procesos de refrigeración o congelación. Para comprobarlo, evaluaron almidones nativos de diferentes especies de *Dioscorea* y determinaron que las suspensiones de almidón de *D. alata* eran las más resistentes a la refrigeración (26% de sinéresis) mientras que los almidones de *D. cayenensis* presentaban la mayor tasa de sinéresis (59%). Sin embargo, en congelamiento a -21°C por 4 semanas, los almidones con un mayor grado de sinéresis incluyeron a las suspensiones de *D. dumetorum*, *D. alata* y *D. cayenensis* (aprox. 54% de sinéresis), mientras que el grupo con menos sinéresis estuvo representado por los almidones de *D. esculenta* (aprox. 39%).

### **3.5.- Perfil amilográfico.**

En el cuadro 21, se presentan los valores obtenidos para los parámetros reológicos, de cada una de las muestras de suspensiones de harina y almidones de ñame nativo y modificados evaluados, mientras que en las figuras 32, 33, 34, 35 y 36, se pueden apreciar los amilogramas correspondientes a cada muestra.

**Cuadro 21.** Perfiles de gelatinización, medidos con el viscoamilógrafo Brabender, expresados en unidades Brabender, de las harinas (HÑ) y almidones de ñame nativos (AN) y modificados (Pregelatinizado: PG; Modificación alcalina: MA; Granulares Solubles en agua fría: AGSAF) de ñame (*D. alata*).

<b>Parámetros</b>	<b>HÑ</b>	<b>AN</b>	<b>PG</b>	<b>MA</b>	<b>AGSAF</b>
Viscosidad inicial (UB)	0	0	0	0	0
Temperatura inicial gel (°C) <b>(A)</b>	77,9	80,0	81,5	81,4	81,4
Viscosidad máxima (UB) <b>(B)</b>	1243	517	254	257	528
Viscosidad a 95°C (UB) <b>(C)</b>	1222	417	194	189	431
Viscosidad a 95°C; 5 min. (UB) <b>(D)</b>	1174	517	254	257	528
Viscosidad a 50°C (UB) <b>(E)</b>	1392	723	331	298	689
Viscosidad a 50°C; 1 min. (UB) <b>(F)</b>	1370	760	345	301	726
Breakdown <b>(B-D)</b>	69	0	0	0	0
Setback <b>(F-B)</b>	149	206	77	41	198
Consistencia <b>(E-D)</b>	218	206	77	41	161



**Figura 32.** Curva amilográfica obtenida para una suspensión de harina de ñame al 7%.

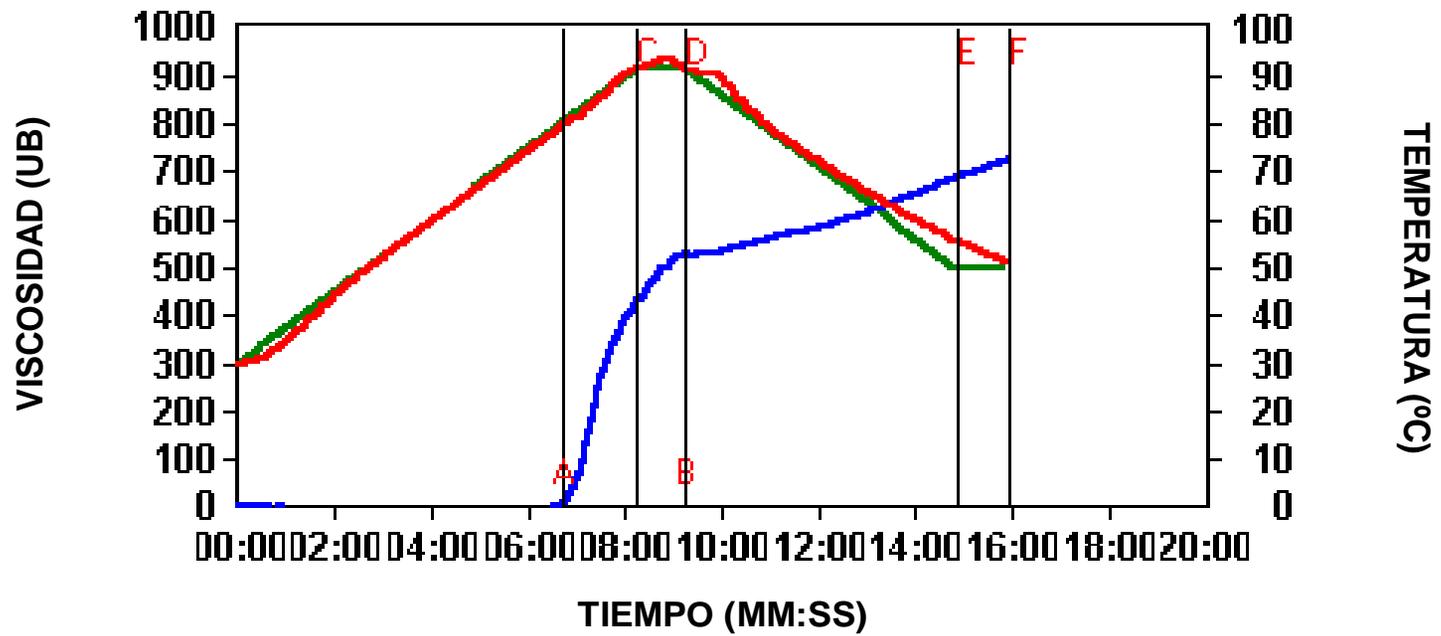
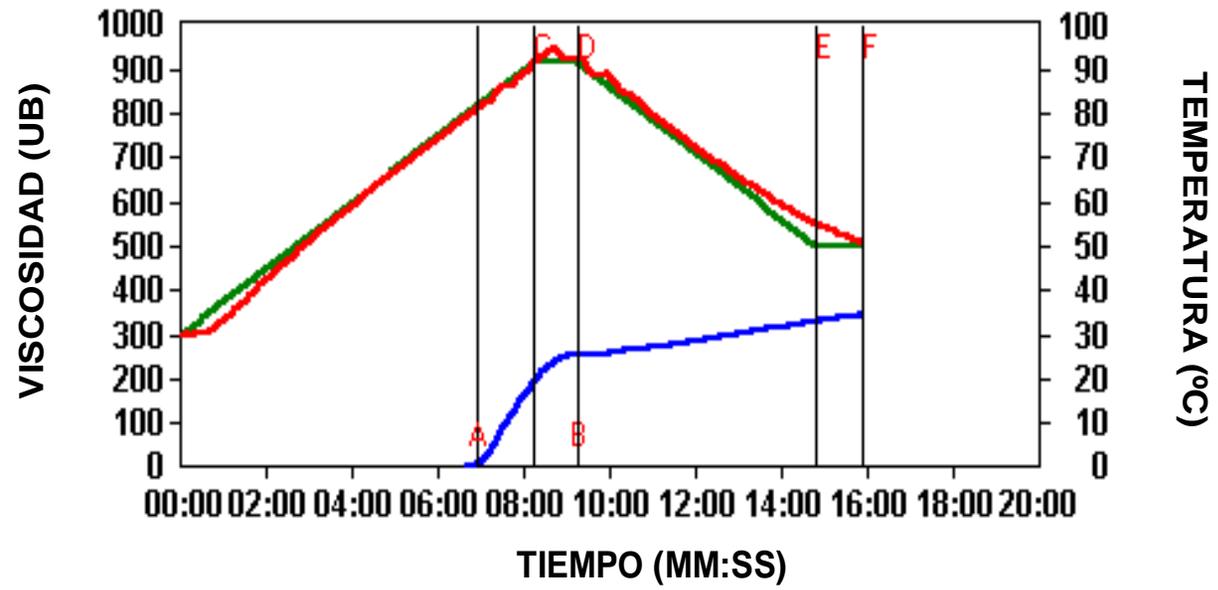
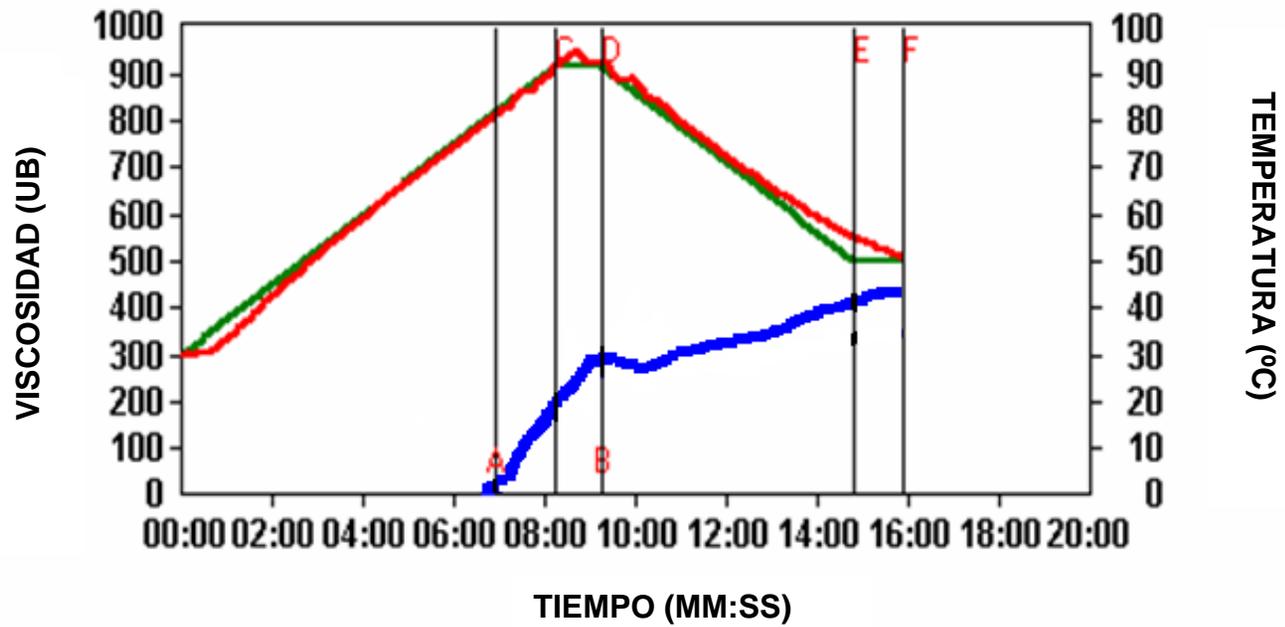


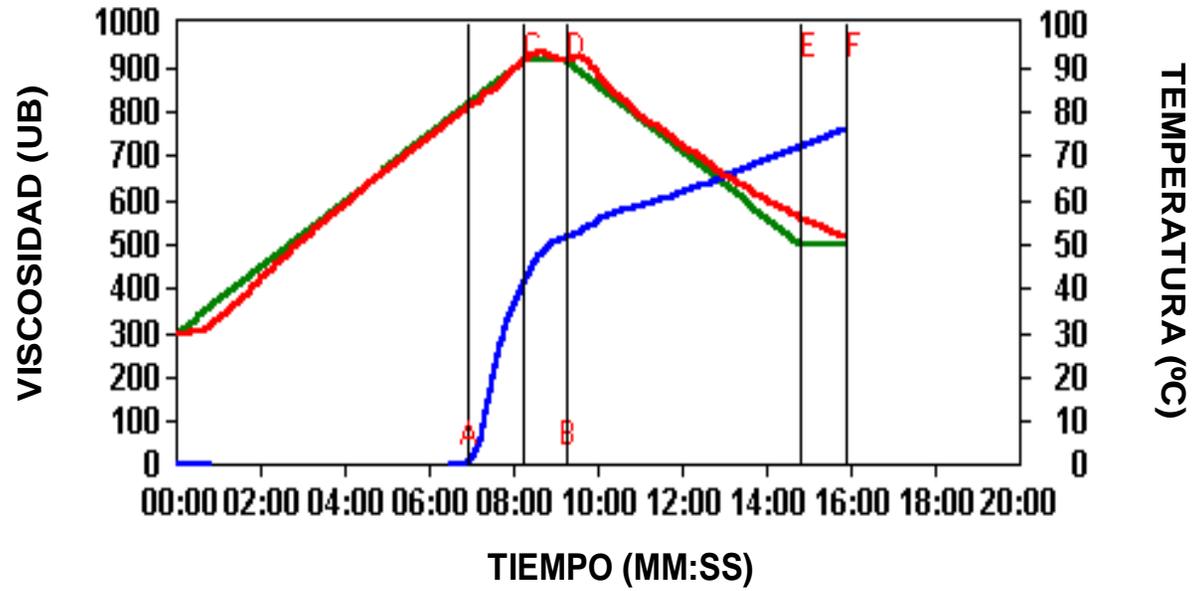
Figura 33. Curva amilográfica obtenida para una suspensión de almidón nativo de ñame al 4%.



**Figura 34.** Curva amilográfica obtenida para una suspensión de almidón pregelatinizado de ñame al 4%.



**Figura 35.** Curva amilográfica obtenida para una suspensión de almidón de ñame (al 4%), modificado por tratamiento alcalino con hidróxido de sodio.



**Figura 36.** Curva amilográfica obtenida para una suspensión de almidón de ñame granular soluble en agua fría (al 4%), modificado por tratamiento alcohólico-alcalino.

### 3.5.1.- Temperatura de Gelatinización (TIG).

Para la suspensión de harina de ñame, la temperatura a la cual se dió inicio el proceso de gelatinización fue de 77,9°C, para el almidón nativo de 80°C, mientras que para los almidones modificados, la TG fue muy similar, de 81,5°C para la suspensión de almidón pregelatinizado, y de 81,4°C para los almidones de ñame modificados químicamente.

La menor temperatura de gelatinización de la harina de ñame, posiblemente se debe a que la suspensión de harina empleada para la obtención del viscoamilograma fue preparada a una concentración equivalente al 7%, superior a la empleada en la preparación de las suspensiones de almidón nativo y modificados, que fue de un 4%. Por lo tanto, por encontrarse a una mayor concentración, la energía requerida para dar inicio al proceso de gelatinización en la harina de ñame, fue inferior.

Este comportamiento también fue observado por Pérez y Pacheco (2005), quienes al evaluar suspensiones de almidón nativo de batata al 2% y de harina de batata al 10%, determinaron que la temperatura de gelatinización era mayor en el almidón (83,5°C) que en la harina (76,5°C), debido a que la concentración de la suspensión de harina fue superior.

Sin embargo, al comparar los resultados obtenidos para la temperatura de gelatinización en las muestras de almidones nativo y modificados, se puede

observar que no existen diferencias significativas; por lo tanto, aparentemente las modificaciones física y químicas empleadas en el presente trabajo de investigación, no provocan cambios a nivel de las fuerzas internas que mantienen enlazadas las moléculas de amilosa y amilopectina en el interior de los gránulos de almidón de ñame.

La temperatura de gelatinización obtenida para la harina en estudio, ésta fue similar a la determinada por Gebre y col. (1998) en harinas de diferentes especies de Dioscoreaceae (entre 75 y 78,2°C); Yu y col. (1999) en harinas de *D. alata* (de 73,5 a 78°C) y Rached y col. (2006), en harinas de *D. trifida* (entre 75 y 78°C).

En lo que se refiere a la TG determinada para los almidones de ñame en estudio, ésta fue similar a la reportada por Farhat y col. (1999); Freitas y col. (2004) y Amani y col. (2005) en almidones de diferentes variedades de ñame; pero superior a la determinada por Lauzón y col. (1995) en suspensiones de almidones de *D. alata* (entre 68 y 75,4°C) y a la presentada por Jayakody y col. (2005) en suspensiones de almidones de diferentes especies de *Dioscoreas* (63°C para *D. esculenta* y 78°C para *D. alata*).

Por su parte, Madhusudhan y col. (1993), al determinar la TG de suspensiones de almidón de batata, encontraron valores desde 65 hasta 75°C; Takeda y col. (1986), en sus estudios sobre almidón de batata encontraron valores de temperatura similares a los reportados para almidones de ñame en estudio, de

81°C; mientras que García y Raleigh (1998) reportaron valores de 56,5 a 73°C para almidón de batatas peruanas.

En cuanto al almidón de maíz, Hernández y col. (2004) y Singh y Singh (2007) encontraron valores de temperaturas de gelatinización semejantes a los determinados para los almidones de ñame (entre 73,48 y 83,8°C); mientras que García y col. (1997); Defloor y col. (1998) y González y Pérez (2003) al evaluar suspensiones de almidón nativo de yuca reportaron valores de TIG más bajos, de 60,2; 61,4 y 60,8°C, respectivamente.

Las diferencias existentes en los valores de TG obtenidas para los almidones extraídos de diversas fuentes botánicas, indican que probablemente existen diferencias en cuanto al grado de asociación de las moléculas de almidón, contenidas en el interior de los gránulos, ya que según Bowler y col. (1980), Leelavathi y col. (1987) y Cooke y Gidley (1992), la temperatura de gelatinización es considerada como índice del orden intragranular, así mientras menor sea su valor, menor será el grado de ordenamiento en el interior de los gránulos.

Las diferencias en los valores de TIG, también podrían atribuirse a las diferencias existentes en el contenido de amilosa, ya que las muestras de almidón de ñame y maíz, que presentan un mayor contenido de amilosa, fueron las que mostraron los valores de TIG más elevados. Al respecto, Biliaderis (1992), Adebawale y Lawal (2003), Zhou y col. (2002), Beleia y col. (2006) indican que los almidones con un mayor contenido de amilosa requieren de una mayor

temperatura para dar inicio al proceso de gelatinización, atendiendo a que el ingreso de agua al gránulo se dificulta, producto del alto grado de orden intragranular.

No obstante, Leelavathi y col. (1987), Keetels y col. (1996) y Hernández y col. (2004), señalan que las diferencias existentes para la TIG entre almidones obtenidos de diversas fuentes botánicas, no sólo se explican por diferencias en el contenido de amilosa, sino que también están determinadas por el peso molecular de las moléculas de almidón, la movilidad intragranular y la proporción de cadenas de amilopectina de gran longitud existentes, ya que éstas pueden formar estructuras de doble hélice que requieren de una gran cantidad de energía para alcanzar la disociación.

La determinación de la temperatura inicial de gelatinización es una característica importante que debe considerarse al momento de desarrollar un producto alimenticio, ya que los almidones de ñame que mostraron los mayores valores de TIG, iniciarían el proceso de absorción de agua a una mayor temperatura y necesitarían de un mayor tiempo de cocción que los almidones de batata y yuca.

### **3.5.2.- Viscosidad máxima.**

Los resultados obtenidos indican que las muestras de almidón de ñame nativo y granular (AGSAF), fueron las que presentaron los mayores valores de

viscosidad máxima, iguales a 517 y 528 UB, respectivamente; mientras que las suspensiones de almidón pregelatinizado (PG) y modificado por tratamiento alcalino (MA) desarrollaron valores de viscosidad más bajos, de 254 y 257 UB. Estos resultados indican que el almidón de ñame nativo y los AGSAF, probablemente sean los que presenten un mayor poder de hinchamiento, asociado a su mayor capacidad de retención y absorción de agua.

Los bajos valores de viscosidad máxima obtenidos para las suspensiones de almidón PG y MA, son consecuencia de procesos de fragmentación y desintegración de la estructura intragranular, ocurrida durante los procesos de modificación a los que éstos fueron sometidos. Esta degradación parcial probablemente provocó pérdida de la integridad de los gránulos, lo que se tradujo en valores de viscosidad más bajos (Adebowale y col., 2003; Choi y Kerr, 2004; Sandhu y col., 2008).

En las curvas amilográficas obtenidas para cada una de las muestras estudiadas, se puede observar que todas las muestras de almidón de ñame evaluadas, desarrollaron el perfil de viscosidad tipo "B", característico de los almidones de cereales, el cual según Miles y col. (1984), Leelavathi y col. (1987) y Lu y col. (2008), se caracteriza porque la viscosidad de la suspensión se mantiene estable durante la fase de calentamiento, sin que se desarrolle un pico pronunciado de viscosidad, y con valores de viscosidad máxima comprendidos entre las 200 y 500 UB.

En otros estudios, Jayakody y col. (2007) evaluaron suspensiones al 7% de almidones de *D. alata* y *D. esculenta*, y observaron que la viscosidad de las mismas también se incrementaba con el calentamiento. Este aumento en los valores de viscosidad, según Jacobs y Delcour (1998) y Ganga y Corke (1999), está determinado por el tamaño del gránulo, que otorga un mayor poder de hinchamiento, puesto que los almidones de gran tamaño pueden ocupar un mayor volumen y otorgar una mayor viscosidad.

Los valores de viscosidad máxima obtenidos para los almidones de ñame en estudio fueron similares a los presentados por Singh y Singh (1997) en almidones de diferentes variedades de maíz (entre 302 y 452 UB) y Farhat y col. (1999) en almidones de yuca (413 UB); superiores a los determinados por Han y Hamaker (2000) en pastas de almidón nativo de maíz (281 UB), pero inferiores a los reportados por Farhat y col. (2001) para almidón de papa (1112 UB).

Estos resultados sugieren que en el almidón de papa predomina una mayor cantidad de enlaces débiles y un menor grado de cristalinidad y por lo tanto, gránulos muy frágiles que se destruyen rápidamente; en cambio, los gránulos de almidón de Dioscorea y maíz, son más resistentes y se destruyen con menor facilidad (Keetels, 1996; Araujo y col., 2004; Kaur y col., 2005).

Además, los parámetros de gelatinización son controlados en parte por la estructura molecular de la amilopectina, la composición del gránulo y la

arquitectura granular .Aparentemente el comportamiento durante la gelatinización está determinado principalmente por la estructura molecular de la región cristalina, es decir, por la distribución de las cadenas más cortas de amilopectina (con grados de polimerización de 6 a 11), y no por la proporción bajo la cual se encuentran las fracciones de amilosa y amilopectina en la región cristalina (Tester y Morrison, 1990; Nkala y col., 1994; Niba y col., 2001; Moorthy, 2002).

En términos de aplicación en la industria alimentaria, la funcionalidad del almidón está relacionada con sus características de gelatinización y pasting. Cuando se calienta en presencia de agua, los gránulos de almidón se hinchan dramáticamente, así como ocurre la pérdida de su cristalinidad, a una determinada temperatura. La amilosa lixivia de los gránulos a medida que el gránulo se hincha. A medida que continúa el hinchamiento resulta en la ruptura de la estructura de los gránulos y en la solubilización (al menos parcial) de la amilosa y de algunas moléculas de amilopectina. La red de moléculas de amilosa y amilopectina, los gránulos hinchados y las estructuras de almidones fragmentados son responsables de las características de viscosidad y de gel (Njitang y Mbofung, 200; Zhang y col., 2005).

Los bajos valores de viscosidad máxima obtenidos para los almidones de ñame analizados, en comparación con los valores de viscosidad que desarrollan los almidones de otras raíces y tubérculos, tales como la papa y la yuca, indican que estos almidones no pueden ser considerados como buenos agentes espesantes; no obstante, la capacidad de dichas suspensiones de almidón de

ñame nativo y modificado para mantener su viscosidad constante durante el calentamiento, sugiere su posible utilización en sistemas o formulaciones de alimentos donde se requiera un gel de consistencia estable a los procesos de transferencia de calor, tales como pasteurización, esterilización y deshidratación, por lo que podrían ser un ingrediente idóneo en la elaboración de productos como salsas sometidas a calentamiento, aderezos para ensalda, sopas instantáneas, colados y pudines, entre otros.

### **3.5.3.- “Breakdown” o Estabilidad.**

El término estabilidad o “breakdown” se entiende como la diferencia entre la viscosidad máxima y la viscosidad obtenida después del período de calentamiento constante. Es un índice que permite evaluar la fragilidad de los gránulos de almidón frente al calentamiento continuo y bajo estrés mecánico (Rasper, 1980). Si el valor de estabilidad es alto, indica que habrá menor resistencia de los gránulos hinchados a la desintegración mecánica, y menor estabilidad de la suspensión de almidón o harina durante el proceso de cocción (Mazur y col., 1957; Ortega y Eliasson, 2001; Olayide, 2004).

Durante el calentamiento constante, la viscosidad de las suspensiones de almidón o harina puede aumentar, disminuir o permanecer constante. Si la viscosidad aumenta, se debe probablemente a que todavía existen suficientes gránulos de almidón intactos; mientras que si disminuye, puede suponerse que los gránulos hinchados son frágiles y no resisten el proceso de agitación y

calentamiento. En cambio, si la viscosidad permanece constante, atiende a que los gránulos de almidón presentan una gran estabilidad frente a la desintegración mecánica (Rasper, 1980; Pitchon y col., 1981; González, 1997; Rao y col., 1997).

En el cuadro 21, se puede observar que todos los almidones de ñame presentaron valores de estabilidad iguales a 0 UB, mientras que la harina mostró un valor igual a 69 UB. Los resultados obtenidos indican que los gránulos de almidón de ñame son resistentes al esfuerzo mecánico, por lo que podrían ser utilizados en la formulación de productos alimenticios que requieran mantener su viscosidad estable durante períodos de calentamiento prolongado y en condiciones de agitación mecánica constante.

Los resultados obtenidos para los almidones de ñame en estudio, fueron similares a los reportados por Yu y col. (1999) en almidones de *Dioscorea* (25 UB), pero difieren de los reportados por Otegbayo y col. (2006) en almidones de *D. rotundata* (172,56 UB) y *D. alata* (71,68 UB); Hernández y col. (2004) en suspensiones de almidón de maíz (55 UB); y Ganga y Corke (1999) para suspensiones de almidón de papa (1296 UB), ya que las pastas obtenidas a partir de éstos últimos son menos estables al calentamiento que las suspensiones de almidón en estudio, debido posiblemente a la presencia de una estructura intragranular más débil.

Asimismo, durante el calentamiento constante a 95°C, almidones de maíz y papa evaluados por Gebre y col. (1998), mostraron una caída evidente en los

valores de viscosidad, a una tasa relativamente más alta para el almidón de papa. No obstante, en los almidones de ñame evaluados por dichos investigadores, la viscosidad se incrementa durante la fase de calentamiento.

Los resultados sugieren que en el almidón de papa, así como en la mayoría de los almidones de raíces y tubérculos, predomina una estructura intragranular muy poco resistente, con una mayor cantidad de enlaces débiles y un menor grado de cristalinidad y por tanto, gránulos muy frágiles que se destruyen fácilmente por efecto del calentamiento, solubilizándose rápidamente; en cambio, en cuanto a los gránulos de almidón de ñame y maíz, éstos son más resistentes al estrés térmico y mecánico y se destruyen con menor facilidad.

#### **3.5.4.- “Setback” o Retrogradación.**

El asentamiento o “setback” se define como la diferencia entre la viscosidad máxima y la viscosidad a 50°C, expresada en unidades Brabender, y es un índice utilizado para expresar la tendencia de los almidones a retrogradar, en consecuencia, mientras mayor sea el valor de este índice, mayor será la tendencia de los componentes de la pasta de almidón a retrogradar, producto del incremento en la viscosidad de la suspensión durante el enfriamiento (Rasper, 1980; Ravindran y Wanasundera, 1992; Satin, 1998).

En el cuadro 21 se presentan los valores obtenidos para la viscosidad a 50°C y para el “setback” o índice de asentamiento, los resultados demuestran que

todas las suspensiones de almidón de ñame estudiadas presentaron una tendencia a incrementar su viscosidad durante el enfriamiento, desde los 95 hasta los 50°C, pero fundamentalmente las muestras de almidón nativo (206 UB) y de almidón granular soluble en agua fría (161 UB), ya que los valores de asentamiento para el almidón modificado por tratamiento alcalino y para el almidón pregelatinizado fueron de 41 y 77 UB, respectivamente.

El mayor valor de “setback” reportado por los almidones granulares conjuntamente con los almidones nativos, se debe a que este tipo de modificación alcohólica-alcalina, favorece la incorporación de grupos hidroxilo a las moléculas de almidón, que permiten su reasociación bajo un nuevo orden cristalino cuando ocurre el enfriamiento de las suspensiones gelatinizadas. No obstante, los geles formados a partir de los AGSAF, muestran una gran elasticidad, que impide la sinéresis o exudación de agua del gel, a pesar de la extensión del fenómeno de retrogradación (Chen y Jane, 1994; Robyt y col., 1996).

Además, cabe destacar, que de acuerdo a lo expuesto por Miyazaki y col. (2000), la retrogradación también está determinada por el peso molecular de las cadenas de amilosa y la longitud de las cadenas de amilopectina, ya que almidones con moléculas de amilosa de bajo peso molecular y largas cadenas de amilopectina, tienden a retrogradar con mayor facilidad. De acuerdo a lo expuesto por Chen y Jane (1994) y Bello y col. (2002a), en los almidones granulares ha ocurrido la depolimerización de las moléculas de amilosa, es decir, el acortamiento

de las cadenas de la misma, lo cual favorece según Miyazaki y col. (2000) el fenómeno de retrogradación.

El comportamiento de los almidones granulares de ñame, una vez ocurrido el enfriamiento de la pasta gelatinizada, es muy interesante, puesto que a pesar de que éstos muestran una elevada tendencia a incrementar su viscosidad en el enfriamiento y a experimentar el fenómeno conocido como retrogradación, los geles que los AGSAF forman son suaves y elásticos, en los cuales la pérdida de agua por sinéresis es inferior a la de cualquier otro almidón de ñame modificado estudiado.

Los resultados obtenidos para los almidones de ñame en estudio, fueron similares a los presentados por Rincón y col. (2000) y Jayakody y col. (2007), para almidones de diferentes especies de *Dioscoreas* (entre 60 y 200 UB y desde 250 hasta 320 UB, respectivamente); y a los reportados por Gebre y col. (1998), quienes señalan que al evaluar suspensiones de almidón de ñame nativo se observó el incremento de su viscosidad por el efecto del enfriamiento, alcanzando valores de “setback” equivalentes a 501 UB; mientras que en suspensiones de almidón de maíz, también evaluadas por dichos investigadores se encontraron valores semejantes, iguales a 262 UB.

Asimismo, en pruebas amilográficas efectuadas a suspensiones de almidón nativo obtenido de diferentes variedades de maíz, Singh y Singh (2007)

encontraron valores de “setback” entre 141 y 726 UB; mientras que Lu y col. (2008) reportaron valores comprendidos entre 234 y 821 UB.

El comportamiento de los almidones de ñame en el enfriamiento, es entonces aparentemente similar al de los almidones y harinas de cereales, y estaría determinado por la reasociación de las moléculas de amilosa en forma paralela, como consecuencia de la formación de puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de dichas moléculas, propiciando la formación de agregados de baja solubilidad , permitiendo así la formación de un gel rígido, susceptible de experimentar sinéresis. (Leelavathi y col., 1987; Miyazaki y col. 2000).

No obstante, los altos valores de setback también pueden ser atribuidos a la gran cantidad de amilosa lixiviada y/o a la presencia de gránulos de almidón muy resistentes, que se encuentran sin fragmentar, embebidos en la red de amilosa (Takeda y col., 1986; Roger y Colonna, 1992; Hoover, 2001).

Por el contrario, en suspensiones de almidones obtenidos a partir de otras raíces y tubérculos, los valores de “setback” son muy elevados, pero negativos, puesto que la viscosidad de los mismos disminuye en el enfriamiento de las pastas, tal es el caso de almidones nativos de papa evaluados por Gebre y col. (1998) (-1115 UB), Araujo y col. (2004) (-421 UB) y Wischmann y col. (2007) (-258 UB); almidones nativos de apio (*Arracacia xanthorrhiza*) y yuca analizados por Pérez y col. (1999), los cuales presentaron valores de -220 y -500 UB, respectivamente.

En este tipo de almidones, aparentemente el fenómeno de retrogradación es muy lento, puesto que de acuerdo a lo establecido por Jane y col. (1996) y Hernández y col. (2004), en los almidones de la mayoría de las raíces y tubérculos, el fósforo se encuentra principalmente bajo la forma de derivados de fosfato monoéster, y estos al encontrarse fundamentalmente en la molécula de amilopectina, retardan la retrogradación, debido a la presencia de cargas negativas que generan repulsión entre las cadenas de almidón.

#### **4.- DIGESTIBILIDAD DE LOS ALMIDONES NATIVO Y MODIFICADOS DE ÑAME (*Dioscorea alata*).**

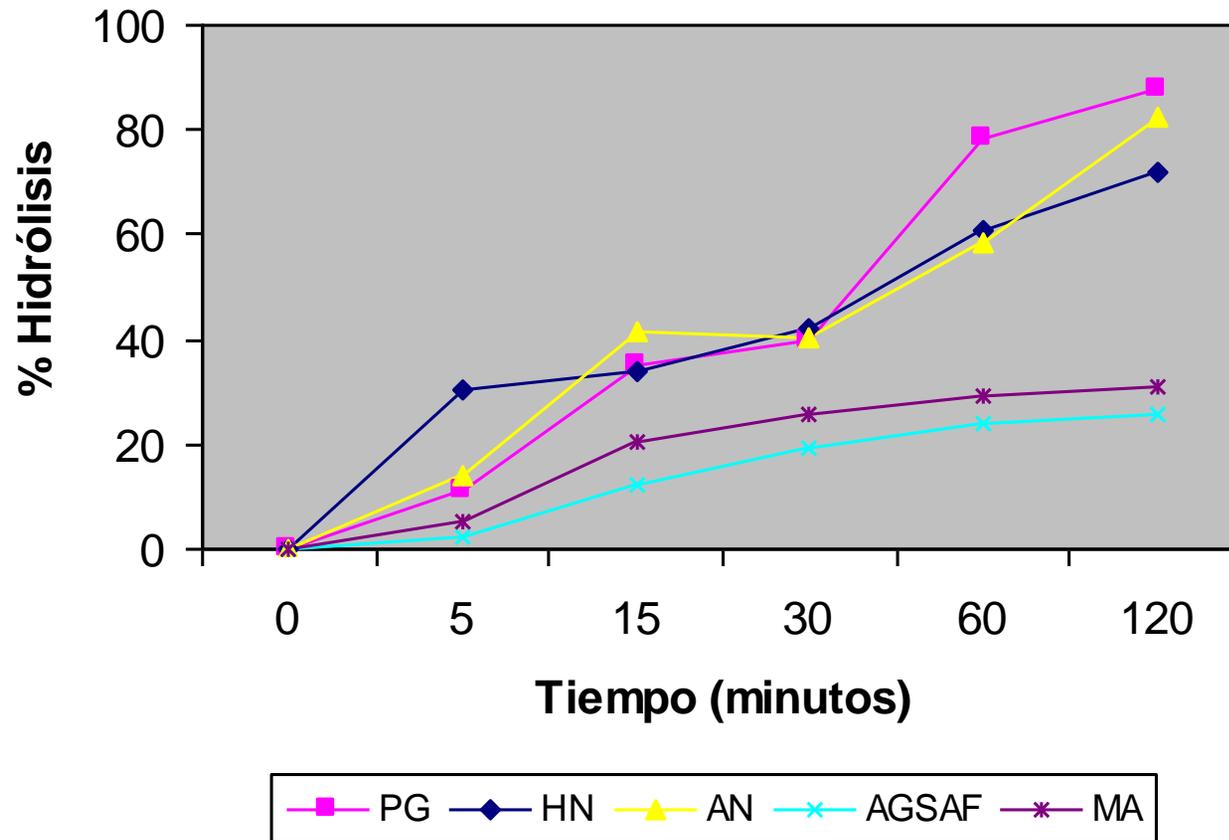
El almidón era considerado hasta hace algunas décadas atrás, completamente digerible y absorbible en el intestino delgado de los seres humanos; sin embargo, diferentes trabajos de investigación demostraron que la digestibilidad de este polisacárido puede variar ampliamente (Theurer, 1992; Björck y col., 1994).

De hecho, la forma del alimento, el arreglo supramolecular del almidón, el grado de cristalinidad y la retrogradación, han sido identificados como los principales factores determinantes del proceso de digestión y absorción del almidón en el intestino delgado (Tovar y col., 1991; Thorne y col., 2003; Hernández y col., 2008).

En función de las diferentes propiedades fisiológicas y en relación a las características de su digestibilidad *in vitro*, el almidón ha sido clasificado nutricionalmente como: i) rápidamente digerible (característicos de los alimentos amiláceos cocidos), ii) lentamente digerible (almidones presentes en la mayoría de los cereales crudos) y iii) almidón resistente (Englyst y Cummins, 1987), ya que existe una cierta fracción del mismo que es resistente a la digestión enzimática, pasando inalterable a través del intestino delgado, para llegar al intestino grueso donde es fermentado por la microflora residente en el colon (Urooj y Puttraj, 1999; Osorio y col., 2002).

La susceptibilidad de la harina y de los almidones nativo y modificados de ñame, a la acción de la  $\alpha$ -amilasa pancreática, se presenta en la figura 37, donde se puede observar que para cada una de las muestras evaluadas, se incrementaba el porcentaje de hidrólisis a medida que transcurría el tiempo de incubación enzimática, es decir, que el mayor grado de amilólisis *in vitro*, para la harina y almidones de ñame en estudio se obtuvo a las 2 horas de incubación por  $\alpha$ -amilasa, con valores comprendidos entre 25,58 y 87,88%. No obstante, a pesar de que el grado de hidrólisis se incrementaba con el tiempo, el comportamiento observado para cada una de las muestras fue diferente.

Para el caso de la harina de ñame, el almidón nativo y el almidón pregelatinizado (Figura 37), la tasa de hidrólisis aumentó lentamente hasta alcanzar los 30 minutos de incubación, ya que para tiempos superiores a éste, el



**Figura 37.** Digestibilidad por  $\alpha$ -amilasa pancreática de la harina (HN), del almidón nativo (AN) y de los almidones modificados de ñame (PG: pregelatinizado; MA: modificación alcalina; AGSAF: granulares solubles en agua fría).

incremento en la tasa de digestión in vitro se hizo más evidente. Estos resultados sugieren que la enzima  $\alpha$ -amilasa pancreática, empleada para la digestión de las muestras, comienza a expresar su actividad hidrolítica a los 30 minutos de incubación; sin embargo, cabe destacar que conforme aumenta el tiempo de incubación, la tasa de hidrólisis sigue en aumento, porque se incrementa la actividad enzimática, lo cual se traduce en un mayor número de enlaces glucosídicos hidrolizados, siempre y cuando no se agote el sustrato (Belitz y Grosch, 1985; Englyst y col., 1992; Gallant y col., 1992).

En cambio para los almidones modificados vía alcalina y por tratamiento alcohólico-alcalino, el comportamiento fue diferente; ya que si bien la tasa de hidrólisis también aumentaba con el tiempo (Figura 37), ésta se hacía prácticamente constante después de los 60 minutos de incubación enzimática. Este comportamiento sugiere que la enzima  $\alpha$ -amilasa, aún después de 2 horas de incubación no fue capaz de incrementar su actividad y provocar la ruptura de un número importante de enlaces glucosídicos, debido posiblemente a que los tipos de modificaciones empleadas provocaron cambios en la estructura química de los polímeros o moléculas que constituyen el almidón, incrementando su resistencia a la hidrólisis enzimática.

El mayor porcentaje de hidrólisis (a las 2 horas de incubación), se obtuvo en las muestras de almidón pregelatinizado, almidón nativo y harina, con valores de 87,88; 82,35 y 72,06%, respectivamente; mientras que para las muestras de

almidón modificado, ya sea por hidrólisis alcalina o por tratamiento alcohólico-alcalino (AGSAF), los valores de hidrólisis, obtenidos una vez transcurrido el tiempo, fueron más bajos, iguales a 31,1 y 25,58%.

La digestibilidad in vitro del almidón contenido en la harina de ñame, fue inferior a la determinada para el almidón nativo, puesto que en la harina, probablemente los gránulos de almidón se encuentran asociados a lípidos y principalmente proteínas, con los cuales forman especies de complejos que retardan la hidrólisis de los enlaces glucosídicos del almidón, ya que estudios previos han demostrado que los almidones contenidos en harinas de ciertas raíces y tubérculos, tales como la papa y yuca, se encuentran fuertemente asociados a la fracción proteica (Thorne y col., 1983; Lee y col., 1985; Hernández y col., 2008).

El grado de digestibilidad determinado para el almidón de ñame nativo (82,35%) fue similar a los valores reportados por Yu y col. (1999), quienes al evaluar almidones nativos de diferentes especies de *Dioscorea*, encontraron que el porcentaje de hidrólisis por  $\alpha$ -amilasa pancreática porcina, luego de dos horas de tratamiento, variaba desde 40 hasta 80%, dependiendo el tipo de tubérculo; mientras que Jayakody y col. (2007), al evaluar almidones nativos de *D. esculenta* y *D. alata*, reportaron valores de 76,58 y 53,63%, respectivamente, luego de 4 horas de hidrólisis, también por  $\alpha$ -amilasa pancreática porcina.

Sin embargo, al comparar los valores de digestibilidad obtenidos para el

almidón de ñame nativo en estudio, con los reportados por Farhat y col. (2001), para almidones nativos de maíz (30%) y papa (12,5%), y con los determinados por Osorio y col. (2004) y Vargas y col. (2006) en almidones nativos de leguminosas (entre 23 y 34%), se puede apreciar que existen diferencias en el grado de digestibilidad *in vitro* entre los diversos tipos de almidones y el almidón de ñame nativo.

Las diferencias existentes para la hidrólisis enzimática de almidones provenientes de diferentes fuentes botánicas, han sido atribuidas a la interacción de muchos factores, entre los cuales se encuentran, la forma y el tamaño del gránulo, la relación amilosa-amilopectina, la longitud de la molécula de almidón, el grado de asociación intramolecular, el grado de cristalinidad y la formación de complejos lípidos-amilosa (Hoover y Sosulski, 1985; Hoover y Manuel, 1995; Jayakody y col., 2007).

En almidones de diferentes especies de *Dioscorea*, los principales factores responsables de la susceptibilidad de los gránulos a la acción de  $\alpha$ -amilasa, son: diferencias en el tamaño de gránulo, en el grado de cristalinidad y en el grado de interacción entre las moléculas de amilosa, y entre las cadenas de amilosa y amilopectina (Jayakody y col., 2007).

Wong y O'Dea (1983), Panlasigui y col. (1991), Vasanthan y col. (2001) señalan que los almidones con un elevado contenido de amilosa, se digieren más

lentamente debido a su elevada cristalinidad, producto de la existencia de un gran número de puentes de hidrógeno intramoleculares. Además, Berry (1986) y Asp (1996) indican que la retrogradación de la fracción de amilosa también suprime la reacción con enzimas amilolíticas.

No obstante, es bien sabido que no sólo el contenido de amilosa determina una disminución en la digestibilidad del almidón, sino también la estructura de la amilopectina, la temperatura de gelatinización, e incluso la cantidad de fósforo presente asociado a las moléculas de amilosa y amilopectina (Lee y col., 1985; Yu y col., 1999; Liu, 2002; Kumari y col., 2007).

Es decir, que la digestibilidad del almidón crudo ha sido atribuida a la interacción de muchos factores, tales como la fuente de almidón, el tamaño del gránulo, la relación amilosa-amilopectina, el grado de asociación existente entre los componentes moleculares del almidón, el grado de cristalinidad, la longitud de la cadena de amilosa y la presencia de complejos lípido-amilosa (Cummings y Englyst, 1995; Zhou y Kaplan, 1996; Guraya y col., 2001).

En cuanto al almidón pregelatinizado, su elevado porcentaje de hidrólisis se atribuye al tipo de modificación empleada, ya que de acuerdo a lo expuesto por Snow y O'Dea, (1981); Holm y col. (1985) y Osorio y col. (2002), el proceso de gelatinización incrementa la susceptibilidad de los gránulos de almidón a la hidrólisis enzimática, producto de la ruptura y desintegración de la compacta estructura cristalina.

Cummins y Englyst (1995) y Gormley y Walshe (1999) señalan que durante la gelatinización cuando el granulo se rompe, éste puede ser fácilmente atacado por las enzimas hidrolíticas; sin embargo, cuando ocurre el enfriamiento, y el almidón gelatinizado rescristaliza, bajo el fenómeno conocido como retrogradación, las moléculas de almidón retrogradadas y particularmente la fracción de amilosa, son más resistentes a la hidrólisis enzimática.

Las diferencias existentes entre el almidón de ñame nativo y el pregelatinizado, también fueron determinadas por Hernández y col. (2008) en almidones de papa, maíz y sagu (*Canna edulis*), ya que dichos investigadores comprobaron que los almidones nativos evaluados, presentaron una digestibilidad *in vitro* menor (entre 5 y 8%) que sus respectivos almidones pregelatinizados, con porcentajes de hidrólisis entre 70 y 90%, al ser sometidos a la acción de  $\alpha$ -amilasa termoresistente y amiloglucosidasa.

La baja tasa de digestibilidad *in vitro* obtenida para los almidones modificados químicamente (tratamiento alcalino y alcohólico-alcalino), aparentemente también está determinada por el tipo de modificación, ya que de acuerdo a lo señalado por Aguirre y col. (2007), los tratamientos con álcalis y alcoholes provocan la solubilización de los carbohidratos, generándose cadenas lineales y pocas ramificaciones que permiten la asociación entre las cadenas de almidón, provocando un aumento de la cristalinidad del gránulo. Además, se forman enlaces glucosídicos diferentes a los enlaces  $\alpha$  (1→4) o  $\alpha$  (1→6) y enlaces

cruzados, y aparecen algunos grupos sustituyentes, que disminuyen su disponibilidad para las enzimas amilolíticas, reduciendo así la digestibilidad del almidón, y favoreciendo la formación de almidón resistente a la hidrólisis enzimática.

Por lo tanto, los almidones de ñame modificados químicamente, posiblemente se comporten como almidones resistentes del tipo RS3, los cuales se forman por efecto del fenómeno de retrogradación, debido al incremento en el grado de interacción entre los componentes del almidón. No obstante, también pudieran clasificarse como almidones del tipo RS4, un cuarto tipo de almidón caracterizado como resistente, el cual está conformado por ciertas fracciones de almidones modificados químicamente (Laurentín y col., 2003; González y col., 2007).

## **5.- DESARROLLO DE PRODUCTOS ENRIQUECIDOS, ELABORADOS A PARTIR DE LA HARINA Y DEL ALMIDÓN GRANULAR DE ÑAME, DESTINADOS AL SECTOR DEL ADULTO MAYOR.**

### **5.1.- Formulación, elaboración y caracterización de néctares enriquecidos con calcio y ácido fólico, elaborados a partir de pulpa de durazno (*Prunus persica*) y harina de ñame.**

Con la finalidad de diseñar un producto alimenticio enriquecido, destinado al sector del adulto mayor, que sea de sencilla preparación, color, aroma y sabor agradable, fácil de digerir y con buenas propiedades nutricionales (Crail y Morales, 1990; Morales y col., 1997; Del Castillo y col., 2000), se decidió desarrollar un néctar de fruta, utilizando como agente espesante la harina de ñame y como agentes fortificantes, calcio y ácido fólico, ya que se ha determinado que ambos micronutrientes son de gran importancia para el buen mantenimiento del estado de salud de las personas de la tercera edad (Cariaga y Soto, 1990; Palacios, 2003; Basabe y col., 2004; Garcés y col., 2006).

El néctar enriquecido fue elaborado a partir de pulpa de durazno, en vista de que esta fruta es capaz de otorgar un color agradable, sabores y aromas intensos, además de encontrarse a buen precio, ser bastante apreciada en el mercado nacional y presentar ciertos componentes nutricionales (vitaminas del complejo B, vitamina C, potasio, magnesio y fibra dietética), (Ordoñez, 1998; Araya y col.,

2006).

La selección de la harina de ñame como agente espesante en el néctar estuvo determinada por sus propiedades funcionales, evaluadas previamente, donde destaca su capacidad de absorción de agua y poder de hinchamiento, lo cual permitió obtener suspensiones de elevada viscosidad a altas temperaturas bajo agitación constante, capaces de mantenerse estables en el enfriamiento. Además, al evaluar su composición química se determinó la existencia de una concentración apreciable de proteínas, fibra dietética y polifenoles, compuestos químicos de gran importancia en la dieta del adulto mayor (Rebolledo y col., 1999; Latham y col., 2001; Wittig de Penna y col., 2002; Valenzuela y Ronco, 2004; Korzen y O'Doherty, 2006).

La incorporación de calcio y ácido fólico como agentes fortificantes estuvo determinada por su comprobada acción en la prevención de ciertas enfermedades de amplia ocurrencia en las personas de la tercera edad, tales como la osteoporosis, la insuficiencia cardíaca y la anemia, entre otras (Weaver y Liebman, 2002; Cashman, 2002 Paz y Hernández, 2006; Miao y col., 2007).

En base a lo expuesto se decidió elaborar diferentes formulaciones de néctares de durazno enriquecidos con calcio y ácido fólico a base de harina de ñame, de las cuales se seleccionaron aquellas con las mejores características sensoriales (Cuadro 22), para evaluar su estabilidad física, química y

microbiológica, así como su grado de preferencia en función a sus atributos sensoriales.

**Cuadro 22.** Formulaciones de néctar de durazno enriquecido con calcio y ácido fólico, elaborados a partir de harina de ñame, seleccionadas en función a ciertos atributos sensoriales (color, sabor y aroma).

<b>FORMULACIÓN</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>
PULPA (g / 100 g)	60,00	60,00	60,00
AZÚCAR (g / 100 g)	3,60	3,60	3,60
ÁCIDO CÍTRICO (g / 100 g)	0,26	0,26	0,26
HARINA ÑAME (g / 100 g)	5,00	8,00	12,00
CALCIO (mg / 100 g)	100,00	100,00	100,00
ÁCIDO FÓLICO (mg / 100 g)	40,00	40,00	40,00
AGUA (g / 100 g)	31,00	28,00	24,00

**5.1.1.-** Estabilidad física y química de los néctares de durazno enriquecidos con calcio y ácido fólico, elaborados con harina de ñame.

Se estudió la estabilidad de los néctares elaborados a partir de pulpa de durazno y harina de ñame, enriquecidos con calcio y ácido fólico, y de un néctar de durazno comercial, por un período de 30 días, efectuando mediciones de color (luminosidad), pH, acidez titulable, sólidos solubles y viscosidad aparente, a los 1, 8, 15, 21 y 30 días de haber elaborado los productos, para poder determinar la

existencia o no, de diferencias estadísticamente significativas para una misma muestra a través del tiempo, y entre muestras para un tiempo de evaluación dado.

En cuanto al atributo color, evaluado en el primer día de almacenamiento (Cuadro 23), se puede apreciar que entre las muestras de néctares formuladas no hubo diferencias significativas para los valores de L, a y b; no obstante, éstos fueron diferentes a los obtenidos para la muestra de néctar de durazno comercial, ya que ésta última reportó valores más bajos para cada uno de los parámetros mencionados.

Estos resultados indican que todas las muestras de néctar evaluadas en la presente investigación, mostraban una mayor luminosidad (valores de L entre 35,40 y 35,58), e incluso una mayor intensidad de color, ya que los valores obtenidos para las coordenadas “a” (entre 4,36 y 4,67) y “b” (entre 12,18 y 12,41), ponen de manifiesto el alejamiento del centro acromático en el diagrama de cromaticidad, lo cual se traduce en un mayor grado de saturación del color (Giese, 1995).

Sin embargo, para poder comparar realmente las diferencias existentes entre las muestras, se calcularon los valores de  $\Delta E$  (únicamente para el primer día de almacenamiento), tal como se presentan en el cuadro 24. Al observar los resultados obtenidos, se puede apreciar que la mayor diferencia de color entre las muestras de néctar en estudio ( $\Delta E$  equivalente a 0,28), se obtuvo entre B1 (5% de harina de ñame) y B3 (12% de harina de ñame); no obstante, al comparar los

**Cuadro 23.** Resultados obtenidos en la evaluación de color ( $\bar{x} \pm ds$ , n=3) realizada a las tres formulaciones de néctar de durazno enriquecido con calcio y ácido fólico, elaborado a partir de harina de ñame; y del néctar de durazno comercial, al primer día de almacenamiento.

PARÁMETROS	MUESTRAS*			
	B1	B2	B3	NC
COLOR				
L	35,40±0,06a	35,46±0,05a	35,58±0,02a	31,36±0,38b
a	4,67±0,02a	4,48±0,06a	4,36±0,02a	1,87±0,02b
b	12,41±0,03a	12,21±0,02a	12,18±0,01a	8,02±0,05b

Los valores promedio con la misma letra en una misma fila no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza y de rango múltiple ( $p \leq 0,05$ ; n=3).

\*: B1: néctar con 5% de harina de ñame; B2: néctar con 8% de harina de ñame; B3: néctar con 12% de harina de ñame; NC: néctar de durazno comercial.

**Cuadro 24.** Resultados obtenidos para los valores de  $\Delta E$ , calculados entre las muestras de néctares evaluadas.

PARÁMETROS	MUESTRAS*					
	B1-B2	B1-B3	B2-B3	B1-NC	B2-NC	B3-NC
$\Delta L$	0,06	0,18	0,12	4,04	4,10	4,22
$\Delta a$	0,19	0,31	0,12	2,80	2,61	2,49
$\Delta b$	0,20	0,23	0,03	4,39	4,19	4,16
$\Delta E^{**}$	<b>0,28</b>	<b>0,43</b>	<b>0,17</b>	<b>6,59</b>	<b>6,42</b>	<b>6,43</b>

\*: B1: néctar con 5% de harina de ñame; B2: néctar con 8% de harina de ñame; B3: néctar con 12% de harina de ñame; NC: néctar de durazno comercial.

\*\*.:  $\Delta E^2 = \Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2$

néctares formulados (B1, B2 y B3) con el néctar de durazno comercial (NC), se obtuvieron valores de  $\Delta E$  más elevados, comprendidos entre 6,43 y 6,59.

Las diferencias existentes entre los néctares enriquecidos evaluados, podrían atribuirse a las diferentes proporciones bajo las cuales fue incorporada la harina de ñame; mientras que el elevado valor de  $\Delta E$  de estas muestras respecto al néctar de durazno comercial, también podrían atribuirse a la presencia de la harina, o bien a diferencias en la proporción de cada uno de los ingredientes añadidos al producto comercial, las cuales se desconocen.

En lo que se refiere a la estabilidad del color, evaluada a través del índice de luminosidad (“L”) para cada uno de los néctares en estudio (Cuadro 25), se puede notar que no existen diferencias significativas en ninguna de las muestras hasta los 15 días de almacenamiento; no obstante a los 21 días, los néctares B2 (8% harina) y B3 (12% harina) comenzaron a manifestar cambios en su coloración, puesto que se detectaron diferencias significativas en los valores de luminosidad, respecto a al néctar B1 y al comercial.

En cambio, a los 30 días, todos los néctares formulados con la harina de ñame (B1, B2 y B3), mostraron diferencias significativas en su comportamiento a través del tiempo, el cual se caracterizó por una disminución en los valores de “L”; mientras que el color del néctar de durazno comercial no experimentó variaciones significativas.

**Cuadro 25.** Comportamiento a través del tiempo del color ( $\bar{x} \pm ds$ , n=3), de los néctares elaborados a base de pulpa de durazno y harina de ñame, enriquecidos con calcio y ácido fólico.

NÉCTARES*	COLOR (L**)				
	To***	T1***	T2***	T3***	T4***
B1	35,40±0,06 <sup>a1</sup>	35,44±0,03 <sup>a1</sup>	35,17±0,07 <sup>a1</sup>	32,83±0,03 <sup>a1</sup>	23,76±0,04 <sup>a1</sup>
B2	35,46±0,05 <sup>a1</sup>	35,44±0,02 <sup>a1</sup>	35,26±0,05 <sup>a1</sup>	28,54±0,36 <sup>b1</sup>	22,51±0,40 <sup>a1</sup>
B3	35,58±0,02 <sup>a1</sup>	35,53±0,03 <sup>a1</sup>	35,40±0,01 <sup>a1</sup>	27,44±1,64 <sup>b2</sup>	21,37±3,84 <sup>a3</sup>
NC	31,36±0,38 <sup>a2</sup>	31,27±0,39 <sup>a2</sup>	31,12±0,27 <sup>a2</sup>	31,08±0,29 <sup>a2</sup>	30,96±0,28 <sup>b2</sup>

\*: B1: néctar con 5% de harina de ñame; B2: néctar con 8% de harina de ñame; B3: néctar con 12% de harina de ñame; NC: néctar comercial.

\*\* : El parámetro empleado para la comparación del color entre muestras y a través del tiempo fue el índice de luminosidad "L".

\*\*\*: To: Día 1; T1: Día 8; T2: Día 15; T3: Día 21; T4: Día 30.

Los valores promedio con la misma letra en una misma fila, no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza ( $p \leq 0,05$ ; n=3).

Los valores promedio con el mismo número en una misma columna, no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza ( $p \leq 0,05$ ; n=3).

Asimismo, al comparar los resultados obtenidos entre muestras para cada uno de los tiempos evaluados, se puede apreciar que desde el tiempo T<sub>0</sub> (día 1) hasta T<sub>2</sub> (día 8), el néctar comercial (NC) era la muestra que presentaba el menor índice de luminosidad; sin embargo, a partir de T<sub>3</sub> (21 días de almacenamiento), los néctares B2 y B3 modificaron su coloración, reportando un valor de luminosidad inferior al determinado para el NC, comportamiento que se mantuvo hasta el tiempo T<sub>4</sub> (30 días).

Las diferencias encontradas entre muestras al final del período de almacenamiento, que se resumen en una disminución del valor de luminosidad y en un incremento en la coloración, podrían atribuirse a reacciones de oscurecimiento no enzimático desarrolladas en las bebidas formuladas, puesto que la harina de ñame posiblemente contribuyó a incrementar el contenido de proteínas en las bebidas, las cuales al reaccionar con azúcares reductores provenientes de la pulpa de durazno, provocaron la aparición de compuestos químicos responsables del oscurecimiento del producto (Belitz y Grosch, 1985; Coultate, 1998).

En cuanto al contenido de sólidos solubles (cuadro 26), ninguna de las muestras de néctares enriquecidos formulados, ni la muestra de néctar comercial, experimentaron variaciones significativas durante el tiempo de almacenamiento; además, tampoco se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre muestras, para un tiempo de evaluación dado.

**Cuadro 26.** Comportamiento a través del tiempo del contenido de sólidos solubles ( $\bar{x} \pm ds$ , n=3), determinado para los néctares elaborados a base de pulpa de durazno y harina de ñame, enriquecidos con calcio y ácido fólico.

NÉCTARES*	SÓLIDOS SOLUBLES (°Brix)				
	To**	T1**	T2**	T3**	T4**
B1	12,0±0,00 <sup>a1</sup>	12,0±0,08 <sup>a1</sup>	12,3±0,13 <sup>a1</sup>	12,3±0,09 <sup>a1</sup>	12,5±0,07 <sup>a1</sup>
B2	12,0±0,00 <sup>a1</sup>	12,3±0,13 <sup>a1</sup>	12,3±0,18 <sup>a1</sup>	12,4±0,13 <sup>a1</sup>	12,4±0,05 <sup>a1</sup>
B3	12,3±0,22 <sup>a1</sup>	12,5±0,21 <sup>a1</sup>	12,8±0,09 <sup>a1</sup>	12,8±0,11 <sup>a1</sup>	12,7±0,13 <sup>a1</sup>
NC	11,5±0,00 <sup>a1</sup>	11,5±0,11 <sup>a1</sup>	11,5±0,18 <sup>a1</sup>	11,7±0,13 <sup>a1</sup>	11,5±0,24 <sup>a1</sup>

\*: B1: néctar con 5% de harina de ñame; B2: néctar con 8% de harina de ñame; B3: néctar con 12% de harina de ñame; NC: néctar comercial.

\*\*To: Día 1; T1: Día 8; T2: Día 15; T3: Día 21; T4: Día 30.

Los valores promedio con la misma letra en una misma fila, no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza ( $p \leq 0,05$ ; n=3).

Los valores promedio con el mismo número en una misma columna, no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza ( $p \leq 0,05$ ; n=3).

En cambio, los valores de pH y acidez titulable (cuadro 27), determinados para cada una de las muestras a través del tiempo, no presentaron diferencias significativas, a excepción del néctar B3 (12% harina), para el cual se observaron variaciones en los valores obtenidos entre los tiempos T<sub>0</sub> (día 1) y T<sub>4</sub> (día 30), ya que el pH disminuyó desde 3,6 hasta 3,2, y los valores de acidez se incrementaron desde 0,5 hasta 0,8%, respectivamente.

Asimismo, al comparar los resultados de pH obtenidos entre muestras, se puede notar que solamente hubo diferencias a los 30 días de almacenamiento, y específicamente entre la muestra B3 (12% harina) y el néctar comercial, ya que el pH obtenido para la bebida formulada con la harina de ñame (3,2) fue más bajo que el reportado para el producto comercial (3,6).

No obstante, al observar los valores de acidez, las diferencias respecto al producto comercial se hicieron evidentes a partir del tiempo T<sub>3</sub> (día 21), ya que los néctares B2 y B3 mostraron un 0,7 y 0,8% de acidez titulable, respectivamente, valores estadísticamente superiores al determinado para el néctar de durazno comercial (0,4%).

Las diferencias existentes entre los néctares evaluados en cuanto al pH y la acidez titulable, podrían atribuirse al hecho de que la harina de ñame, incorporada en diferentes proporciones en cada una de los productos en estudio, contribuyó a incrementar el contenido de almidón, el cual puede ser transformado a través de la acción catalítica de enzimas amilolíticas (sintetizadas por bacterias y hongos

**Cuadro 27.** Comportamiento a través del tiempo del pH y de la acidez titulable ( $\bar{x} \pm ds$ , n=3), determinados para los néctares elaborados a base de pulpa de durazno y harina de ñame, enriquecidos con calcio y ácido fólico.

NÉCTARES*	pH					Acidez titulable (%)				
	To**	T1**	T2**	T3**	T4**	To**	T1**	T2**	T3**	T4**
B1	3,5±0,04 <sup>a1</sup>	3,5±0,04 <sup>a1</sup>	3,5±0,05 <sup>a1</sup>	3,4±0,04 <sup>a1</sup>	3,4±0,07 <sup>a12</sup>	0,5±0,02 <sup>a1</sup>	0,6±0,05 <sup>a1</sup>	0,6±0,07 <sup>a12</sup>	0,6±0,07 <sup>a12</sup>	0,6±0,11 <sup>a12</sup>
B2	3,6±0,11 <sup>a1</sup>	3,6±0,00 <sup>a1</sup>	3,6±0,13 <sup>a1</sup>	3,5±0,18 <sup>a1</sup>	3,4±0,13 <sup>a12</sup>	0,6±0,02 <sup>a1</sup>	0,6±0,05 <sup>a1</sup>	0,6±0,11 <sup>a2</sup>	0,7±0,22 <sup>a2</sup>	0,7±0,09 <sup>a2</sup>
B3	3,6±0,06 <sup>a1</sup>	3,5±0,13 <sup>ab1</sup>	3,4±0,04 <sup>ab1</sup>	3,4±0,11 <sup>ab1</sup>	3,2±0,09 <sup>b2</sup>	0,5±0,01 <sup>a1</sup>	0,6±0,05 <sup>ab1</sup>	0,6±0,05 <sup>ab12</sup>	0,7±0,04 <sup>b2</sup>	0,8±0,06 <sup>b2</sup>
NC	3,7±0,04 <sup>a1</sup>	3,7±0,10 <sup>a1</sup>	3,6±0,17 <sup>a1</sup>	3,6±0,04 <sup>a1</sup>	3,6±0,14 <sup>a1</sup>	0,4±0,01 <sup>a1</sup>	0,4±0,11 <sup>a1</sup>	0,4±0,05 <sup>a1</sup>	0,4±0,04 <sup>a1</sup>	0,4±0,11 <sup>a1</sup>

\*: B1: néctar con 5% de harina de ñame; B2: néctar con 8% de harina de ñame; B3: néctar con 12% de harina de ñame; NC: néctar comercial.

\*\*To: Día 1; T1: Día 8; T2: Día 15; T3: Día 21; T4: Día 30.

Los valores promedio con la misma letra en una misma fila, no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza ( $p \leq 0,05$ ; n=3).

Los valores promedio con el mismo número en una misma columna, no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza ( $p \leq 0,05$ ; n=3).

naturalmente presente en el néctar), en glucosa, uno de los componentes químicos más utilizados por las levaduras para llevar a cabo procesos fermentativos, que conducen a la disminución del pH y al incremento en los valores de acidez (Okoli y co.l., 1990; Dizey y col., 1992; Karovieová y Kohajdová, 2003).

Cabe destacar que los resultados obtenidos para el contenido en sólidos solubles, pH y acidez titulable para los néctares de durazno enriquecidos, fueron similares a los determinados para la muestra de néctar de durazno comercial hasta los 21 días de almacenamiento refrigerado, e inclusive cumplieron con las especificaciones establecidas por el Codex Alimentarius (1981) y la Comisión Venezolana de Normas Industriales (1995), las cuales señalan un porcentaje de sólidos solubles entre 11 y 14%, un pH comprendido entre 3,4 y 3,7, y un porcentaje de acidez entre 0,4 y 0,7%.

En estudios previos, Delmonte y col. (2006), al evaluar néctares de durazno con diferentes concentraciones de la goma proveniente de caro-caro (*Enterolobium cyclocarpum*) (entre 0,2 a 1%), utilizada como agente espesante y estabilizante, obtuvieron valores en el contenido de sólidos solubles similares a los determinados en el presente estudio, con valores comprendidos entre 12,98 y 13,05 °Brix, mientras que Vásquez y Glorio (2007), también reportaron valores de 12,5 °Brix, para néctares de durazno enriquecidos con calcio y magnesio.

En cuanto a los valores de pH y acidez titulable determinados para los néctares en estudio, fueron semejantes a los presentados para productos similares en investigaciones previas, tal es el caso de Antón y Medina (2003) (bebidas de durazno pasteurizadas); Dizy y col. (1992), en jugos y néctares de uva, manzana y piña, estabilizados con goma guar y carboximetilcelulosa; y Vásquez y Glorio (2007), en néctares de durazno enriquecidos.

Sin embargo, los resultados obtenidos difieren de los presentados por Aristoy y col. (1984) en jugos de durazno (pH de 3,5, pero valores de acidez iguales a 0,9%); Serón y Guzmán (1993), en néctares de durazno enriquecidos con hierro (pH promedio de 3,8 y acidez de 1,1%); y por Delmonte y col. (2006), quienes al evaluar néctares de durazno, acondicionados con estabilizantes, reportaron valores de pH de 3,08 a 3,11 y de 2,57 a 2,61% de acidez.

Por otra parte, al evaluar la viscosidad desarrollada por cada uno de los néctares formulados durante el almacenamiento (Cuadro 28), y por el néctar de durazno comercial, se puede notar que la única muestra que experimentó diferencias significativas fue el néctar B3 (12% harina), ya que para el tiempo T4, que equivale a 30 días de almacenamiento, los valores de viscosidad (372 cps) fueron inferiores a los obtenidos para esta misma muestra en los tiempos T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> (436,0; 436,0; 426,67 y 409,33 cps., respectivamente).

En cambio, al comparar los resultados obtenidos entre muestras, si se observaron diferencias estadísticamente significativas. El valor más alto de

**Cuadro 28.** Comportamiento a través del tiempo de la viscosidad aparente ( $\bar{x} \pm ds$ , n=3), determinada para los néctares elaborados a base de pulpa de durazno y harina de ñame, enriquecidos con calcio y ácido fólico.

NÉCTARES*	VISCOSIDAD APARENTE (cps)				
	To**	T1**	T2**	T3**	T4**
B1	226,67±4,44 <sup>a2</sup>	225,34±7,11 <sup>a2</sup>	224,00±8,00 <sup>a2</sup>	221,33±4,44 <sup>a2</sup>	218,66±3,55 <sup>a2</sup>
B2	364,00±5,33 <sup>a3</sup>	360,00±2,67 <sup>a3</sup>	358,67±3,56 <sup>a3</sup>	353,33±3,56 <sup>a3</sup>	342,67±1,78 <sup>a3</sup>
B3	436,00±2,66 <sup>a3</sup>	436,00±8,00 <sup>a3</sup>	426,67±6,22 <sup>a3</sup>	409,33±7,11 <sup>ab3</sup>	372,00±5,33 <sup>b3</sup>
NC	46,67±1,78 <sup>a1</sup>	45,34±1,78 <sup>a1</sup>	44,00±0,00 <sup>a1</sup>	42,67±1,78 <sup>a1</sup>	40,00±2,67 <sup>a1</sup>

\*: B1: néctar con 5% de harina de ñame; B2: néctar con 8% de harina de ñame; B3: néctar con 12% de harina de ñame; NC: néctar comercial.

\*\*To: Día 1; T1: Día 8; T2: Día 15; T3: Día 21; T4: Día 30.

Los valores promedio con la misma letra en una misma fila, no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza ( $p \leq 0,05$ ; n=3).

Los valores promedio con el mismo número en una misma columna, no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza ( $p \leq 0,05$ ; n=3).

viscosidad, para todos los tiempos evaluados, se obtuvo para las muestras de néctar enriquecidos B2 y B3 (con 8 y 12% de harina de ñame, respectivamente), mientras que la muestra de néctar de durazno comercial, fue la que presentó los valores más bajos, en cada uno de los tiempos estudiados.

Por lo tanto, la presencia de una mayor cantidad de harina de ñame en los néctares B2 y B3, contribuyó a incrementar los valores de viscosidad, los cuales fueron capaces de mantenerse a través del tiempo. Este incremento de la viscosidad puede atribuirse a la presencia de una mayor concentración de almidón, proveniente de la harina, que al gelatinizarse por efecto del tratamiento térmico al cual fue sometido el néctar durante su elaboración, fue capaz de incrementar su capacidad de absorción de agua, que se tradujo en un aumento del tamaño de los gránulos y por consiguiente en un incremento de los valores de viscosidad (Thomas y Atwell, 1999; Alves y col., 2002; Beleia y col, 2006).

Sin embargo, es importante resaltar que la muestra de néctar de durazno comercial apenas reportó valores de viscosidad comprendidos entre 46,67 y 40,00 cps, ya que probablemente no presentaba agentes espesantes como gomas o almidón, o por lo menos no se encontraban a una concentración tan elevada como para poder incrementar la viscosidad a valores cercanos a los obtenidos para las muestras experimentales.

Los valores de viscosidad obtenidos para los néctares de durazno enriquecidos fueron superiores a los reportados por Delmonte y col. (2006),

quienes al estudiar néctares de durazno obtenidos a partir de la incorporación de 0,2 a 1,0% de la goma proveniente de caro-caro, obtuvieron valores de 79,8 a 206,5 cps. No obstante, la proporción bajo la cual fue incorporada la harina de ñame en cada una de las formulaciones de néctares de durazno enriquecidos en estudio, fue superior a las concentraciones de la goma utilizadas por dichos investigadores.

Por su parte, Pastor y col. (1996), al evaluar néctares de durazno empleando como agente espesante de 3,0 a 5,0% de almidón de maíz, obtuvo valores comprendidos entre 150 y 875 cps, similares a los obtenidos en los néctares de durazno enriquecidos en estudio.

Estos resultados sugieren que aparentemente el almidón contenido en la harina de ñame se comporta como un buen agente espesante, producto de la capacidad que tiene el almidón de enlazar a las moléculas de agua libre; esta propiedad se intensifica, probablemente, a una mayor concentración. El mecanismo mediante el cual el almidón contenido en la harina interactúa con el sistema acuoso en estudio, tiene carácter no-covalente, producto de la formación de puentes de hidrógeno almidón-agua (Carr, 1993; Farhat y col., 1999; Gebre y col., 1998).

En cuanto al fenómeno de separación de fases (cuadro 29), evaluado en forma cualitativa para cada una de los néctares de durazno enriquecidos formulados y para el néctar comercial, se determinó que éste se observaba sólo

**Cuadro 29.** Estudio cualitativo de la separación de fases, en los néctares de durazno enriquecidos con calcio y ácido, elaborados a base de harina de ñame.

NÉCTARES*	SEPARACIÓN DE FASES***				
	To**	T1**	T2**	T3**	T4**
B1	ND	ND	ND	ND	ND
B2	ND	ND	ND	ND	ND
B3	ND	ND	ND	D	D
NC	ND	ND	ND	ND	ND

\*: B1: néctar con 5% de harina de ñame; B2: néctar con 8% de harina de ñame; B3: néctar con 12% de harina de ñame; NC: néctar comercial.

\*\*To: Día 1; T1: Día 8; T2: Día 15; T3: Día 21; T4: Día 30.

\*\*\*: ND: no se detecta separación de fases; D: se detecta separación de fases.

en el néctar B3 (12% harina), y exclusivamente a partir de los 21 días de almacenamiento (T3). No obstante, ni la muestra de néctar de durazno comercial, ni los néctares B1 (5% harina) y B2 (8% harina), experimentaron separación de fases a ninguno de los tiempos evaluados.

Estos resultados sugieren que el almidón contenido en la harina, aparentemente pudiera ser considerado como un ingrediente o aditivo importante en la elaboración de este tipo de productos; y que existe un nivel de dosificación óptimo para que dichos almidones ejerzan su funcionalidad. Las redes tridimensionales formadas a través de las uniones establecidas, posiblemente favorecen la retención de agua y pueden estabilizar también el resto de los ingredientes participantes en el alimento (Glicksman, 1982; Sousa y col., 2007).

El incremento de la viscosidad del sistema, producto de la incorporación de almidones y/o hidrocoloides a los néctares de frutas, permite otorgar estabilidad y uniformidad al producto final, e incluso contribuye a mejorar las propiedades sensoriales de los mismos (Costell y col., 1994; Pastor y col., 1996).

#### **5.1.2.- Análisis microbiológicos.**

Los resultados obtenidos para los análisis microbiológicos, efectuados a los néctares de durazno enriquecidos en estudio, obtenidos a partir de la harina de ñame, se presentan en el cuadro 30, donde se puede apreciar que las tres formulaciones de néctares evaluados, cumplieron con lo recomendado por las

**Cuadro 30.** Evaluación microbiológica de las diferentes formulaciones de néctares de durazno enriquecidos elaborados con base en la harina de ñame.

<b>FORMULACIÓN*</b>	<b>AEROBIOS MESÓFILOS**</b>	<b>HONGOS**</b>	<b>LEVADURAS**</b>	<b>ENTEROBACTERIAS**</b>
B1	1,05 x 10 <sup>2</sup>	< 1	< 1	ND***
B2	9,5 x 10 <sup>1</sup>	< 1	< 1	<1
B3	9,2 x 10 <sup>1</sup>	< 1	< 1	< 1

\*B1: 5% de harina de ñame; B2: 8% de harina de ñame; B3: 12% de harina de ñame.

\*\* : Expresados como UFC.ml<sup>-1</sup> de néctar evaluado.

\*\*\*: ND = No detectado

Normas COVENIN 1699 (1981) y COVENIN 1337 (1978), las cuales establecen valores máximos de 200 UFC.ml<sup>-1</sup> para organismos mesófilos, 50 UFC.ml<sup>-1</sup> para mohos y 100 UFC.ml<sup>-1</sup> para levaduras, determinados el primer día después de haberse efectuado la pasteurización.

Los coliformes totales estuvieron dentro del rango óptimo establecido por el Codex Alimentarius (1981), para bebidas pasteurizadas tipo néctar de durazno, ya que todas las formulaciones evaluadas presentaron un valor menor a 1 UFC.ml<sup>-1</sup>, evidenciando que las condiciones de procesamiento fueron eficientes.

### **5.1.3.- Evaluación Sensorial.**

En el cuadro 31 se presentan los resultados obtenidos en la evaluación sensorial de las tres formulaciones de néctar en estudio (B1, B2 y B3), y de la muestra de néctar de durazno comercial (NC). En dicho cuadro se indican los promedios obtenidos para los valores de ranqueo y el estadístico de Friedman (F), los cuales fueron determinados para cada uno de los atributos sensoriales evaluados.

Al observar los resultados obtenidos, se puede apreciar que en cuanto a los atributos sabor y aroma, no se detectaron diferencias significativas en la preferencia ( $P < 0,05$ ), es decir, que la incorporación de diferentes proporciones de harina de ñame, e incluso la adición de los agentes fortificantes (carbonato de calcio y ácido fólico), en cada una de las bebidas evaluadas, aparentemente no

**Cuadro 31.-** Evaluación sensorial de los néctares de durazno enriquecidos elaborados a partir de la harina de ñame, y de un néctar de durazno comercial.

ATRIBUTOS SENSORIALES	MUESTRAS				
	B1*	B2*	B3*	NC*	F**
COLOR	2,86a	2,80a	1,60b	2,76a	35,91***
AROMA	2,52a	2,54a	2,48a	2,48a	3,02
SABOR	2,56a	2,52a	2,36a	2,58a	3,90
CONSISTENCIA	2,64b	2,80a	1,96c	2,62b	15,47***
APARIENCIA	2,68a	2,56a	2,14b	2,64a	8,56

\*B1: néctar con 5% de harina de ñame; B2: néctar con 8% de harina de ñame; B3: néctar con 12% de harina de ñame; NC: néctar comercial.

\*\*F: Estadístico de Friedman

\*\*\*: Significativo al 95% de confianza.

provocó modificaciones evidentes en la percepción de estos atributos, ya que los panelistas no pudieron reportar una mayor o menor preferencia por alguna de las muestras de néctares estudiados.

Sin embargo, al evaluar los atributos color, consistencia y apariencia general, si se detectaron diferencias estadísticamente significativas en la preferencia ( $P < 0,05$ ), entre los néctares de durazno preparados con base en la harina de ñame, e inclusive respecto al producto comercial.

En cuanto al color, las muestras más preferidas fueron los néctares B1 (5% de harina de ñame) y B2 (8% de harina), así como el néctar de durazno comercial (NC); es decir, que la incorporación de un 12% de harina de ñame, como ingrediente en la elaboración de néctares de durazno no es recomendable, ya que aparentemente provoca cambios desagradables en el color del producto, que según las observaciones efectuadas por el panel evaluador se resumen en opacidad y turbidez.

Asimismo, al observar los valores de consistencia, se puede notar que la muestra menos preferida fue la B3 (12% de harina), mientras que el néctar más apreciado por los panelistas fue el B2 (8% harina), seguido por B1 (5% harina) y el néctar comercial; es decir, que el grupo de panelistas que efectuó la evaluación, prefiere néctares con una consistencia similar al comercial, e incluso ligeramente superior, los cuales se obtienen incorporando hasta un 8% de harina de ñame, ya

que la adición de un 12% disminuye su preferencia, debido según los comentarios emitidos por los panelistas, al exceso de viscosidad y a la separación de fases.

Si bien para los atributos sabor y aroma no se presentaron diferencias en la preferencia, al considerar la “apariencia general”, los panelistas posiblemente tomaron en cuenta el color y la consistencia, ya que para ellos las muestras más preferidas fueron la B1, B2 y el néctar comercial; mientras que el néctar B3, fue el menos preferido tanto en “apariencia general” como en “color” y “consistencia”.

Por lo tanto, la incorporación de harina de ñame no provoca cambios en la preferencia, siempre y cuando se incorpore en menos de un 8%, ya que valores por encima del 12% alteran negativamente el color y la consistencia de los productos elaborados, lo cual se traduce en una disminución en la preferencia; es decir, es posible que una mayor incorporación de harina de ñame a la formulación B3, provocara la disminución en el grado de aceptabilidad de la misma.

En estudios similares, realizados por otros investigadores, Delmonte y col. (2006), al evaluar néctares de durazno preparados con base en la goma de *E. cyclocarpum*, observaron diferencias significativas en cuanto al sabor y textura ( $P < 0,05$ ), ya que el panel encuestado opinó que el sabor de los productos preparados a la mayor concentración (1%) era agradable y característico, en comparación con el sabor menos definido de los néctares elaborados con la menor concentración de la goma (0,70%). Además, éstos últimos presentaron una

textura menos viscosa, en contraste con la apariencia homogénea y consistente de los productos preparados con la mayor concentración de la goma ensayada.

En cambio, Pangborn y col. (1988), al incorporar diferentes concentraciones de goma guar en néctares de durazno y manzana, no detectaron diferencias en la preferencia para los atributos color, sabor y aroma; mientras que Costell y col., (1994), al evaluar el efecto de la incorporación de diversas proporciones de carboximetilcelulosa en néctares de mezclas de frutas, no encontraron diferencias en la preferencia para el parámetro de viscosidad, aunque si se observaron diferencias significativas en términos de sabor y aroma.

No obstante, Vásquez y Glorio (2007), al evaluar sensorialmente muestras de néctar de durazno enriquecidas con calcio y magnesio, determinaron, haciendo uso de una escala hedónica, que la apariencia del producto tuvo una aceptabilidad moderada, debido a las diferencias existentes con el néctar de durazno comercial, en el cual no se observaba la formación de precipitado y además no requería de agitación previa.

**5.2.- Formulación, elaboración y caracterización de polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, obtenidos a partir de almidón de ñame (*Dioscorea alata*), nativo y granular.**

Con la finalidad de desarrollar un producto alimenticio enriquecido, destinado al sector del adulto mayor, con buenas características sensoriales y de importancia nutricional, se elaboraron polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, en la cantidad necesaria para satisfacer el 25% de los requerimientos diarios de dichos nutrientes, en las personas de la tercera edad.

La incorporación de hierro bajo la forma de sulfato ferroso, por ser una de sus formas más biodisponibles (Martínez y col., 2002; Burguess y col., 2001), y de ácido fólico a la formulación de los polvos para pudín de chocolate, se realizó con el objeto de diseñar un producto alimenticio con propiedades nutricionales, debido a la comprobada eficacia de estos micronutrientes en la prevención de ciertas enfermedades en el adulto mayor, tales como: anemia, anemia megaloblástica y enfermedades cardiovasculares (Selhub y col., 1993; Walter, 1999; Boccio y col., 2004; Lynch, 2004).

En la formulación de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos, se utilizó como agente espesante y estabilizante el almidón de ñame nativo y el almidón de ñame granular, seleccionado éste último en base a sus propiedades funcionales, entre las cuales destacan su capacidad para solubilizarse en agua

fría, mantener la viscosidad de sus suspensiones estables al calentamiento, y su gran estabilidad en el enfriamiento.

**5.2.1.-** Formulación y elaboración de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos, obtenidos a partir de almidón de ñame nativo y granular.

En la fase de formulación de los polvos para pudín de chocolate enriquecido, se efectuaron una serie de pruebas preliminares, empleando diferentes concentraciones de cada uno de los ingredientes necesarios para la elaboración del producto. La proporción bajo la cual fueron incorporados dichos ingredientes, en función de la formulación empleada, se presentan en el Cuadro 33.

De las dieciocho (18) formulaciones establecidas inicialmente (nueve con base en el almidón de ñame nativo y nueve con base en el almidón de ñame granular), se seleccionaron solamente dos (2), que fueron aquellas que presentaron valores de viscosidad similares al producto comercial, y una mayor aceptación desde el punto de vista sensorial.

En el cuadro 34, se presentan los valores determinados para la prueba de viscosidad efectuada a cada una de las formulaciones preliminares de polvo para pudín de chocolate enriquecido, las cuales ya fueron establecidas con anterioridad; mientras que los resultados obtenidos para la evaluación sensorial de los postres correspondientes a dichas formulaciones, se presenta en el cuadro 35.

**Cuadro 33.** Formulaciones para los polvos de pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico.

	<b>Formulaciones (g / 100 g polvo)</b>																	
<b>Ingredientes</b>	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9
Almidón nativo	10	10	10	15	15	15	20	20	20									
Almidón granular										10	10	10	15	15	15	20	20	20
Sacarosa	75	70	65	75	70	65	75	70	65	75	70	65	75	70	65	75	70	65
Cacao en polvo	15	20	25	10	15	20	5	10	15	15	20	25	10	15	20	5	10	15
Vainillina	0,1									0,1								
Sulfato ferroso	0,008									0,008								
Ácido fólico	0,38									0,38								

**Cuadro 34.** Resultados obtenidos en la prueba de viscosidad efectuada a cada una de las formulaciones preliminares de polvos para pudín de chocolate enriquecidos reconstituidos.

<b>Formulaciones Almidón Nativo</b>	<b>Viscosidad (cps)</b>	<b>Formulaciones Almidón Granular</b>	<b>Viscosidad (cps.)</b>
N1	12.400	G1	14.400
N2	12.400	G2	14.600
N3	12.400	G3	14.600
N4	16.600	G4	17.400
N5	16.600	G5	17.400
N6	16.800	G6	17.600
N7	18.400	G7	19.600
N8	18.400	G8	19.600
N9	18.800	G9	19.800

**Cuadro 35.** Resultados de la prueba sensorial de valoración por calidad, obtenidos para cada una de las formulaciones preliminares en estudio, reconstituidas bajo la forma de pudín.

Formulaciones Almidón Nativo	Color	Apariencia	Sabor	Textura	Calidad total	Formulaciones Almidón Granular	Color	Apariencia	Sabor	Textura	Calidad total
N1	7,9	8,0	8,0	8,5	8,1	G1	7,9	7,9	8,2	8,7	8,2
N2	8,4	8,0	8,4	8,7	8,4	G2	7,9	8,2	8,8	8,8	8,4
N3	8,1	7,7	9,1	8,4	8,3	G3	8,1	8,2	9,2	8,8	8,6
N4	8,6	8,3	8,1	8,9	8,5	G4	8,8	8,5	8,2	9,0	8,6
N5	8,5	8,2	8,3	9,2	8,6	G5	8,8	8,3	8,7	9,1	8,6
N6	8,8	8,5	9,0	9,0	8,8	G6	8,9	8,3	9,2	9,1	8,9
N7	7,4	7,5	7,9	7,5	7,6	G7	7,8	7,7	7,8	7,8	7,8
N8	7,3	7,4	8,8	7,7	7,8	G8	8,0	7,6	8,9	7,9	8,1
N9	7,7	7,2	9,2	7,5	7,9	G9	8,1	7,5	9,0	7,7	8,1

En primer lugar, al observar los valores de viscosidad obtenidos entre las muestras de polvos para pudín de chocolate enriquecido reconstituidos en leche, bajo la forma en la cual serían consumidos (Cuadro 34), se puede apreciar que las formulaciones N7, N8 y N9 (20% de almidón nativo), y G7, G8 y G9 (20% de almidón granular), fueron las que reportaron los mayores valores de viscosidad, superiores incluso a los determinados en la muestra de pudín comercial (16.800 cps). Por lo tanto, las formulaciones más recomendadas, con viscosidades similares al producto comercial serían las N4, N5 y N6 (con 15% de almidón nativo) y las G4, G5 y G6 (con 15% de almidón granular).

No obstante, también se deben considerar los resultados obtenidos en la prueba sensorial de valoración por calidad (cuadro 35), los cuales indican que las formulaciones más preferidas, en cuanto a los atributos color, apariencia, sabor y textura también fueron las muestras N6 y G6 (con un 15% de almidón nativo y granular, respectivamente).

Es decir, que de acuerdo a la viscosidad desarrollada por cada una de las formulaciones estudiadas, y a la preferencia de un panel de jueces no entrenados, las formulaciones más apropiadas para la obtención de polvos para pudín de chocolate enriquecido con hierro y ácido fólico, fueron las N6 y G6, cuya proporción de ingredientes se presenta en el cuadro 36.

**Cuadro 36.** Formulaciones seleccionadas a base de almidón de ñame nativo y granular, para la elaboración de polvos para pudín de chocolate enriquecidos.

<b>Ingredientes</b>	<b>Formulaciones (g / 100 g polvo)</b>	
	<b>F1</b>	<b>F2</b>
Almidón nativo	15,00	-
Almidón granular	-	15,00
Sacarosa	65,00	65,00
Cacao en polvo	20,00	20,00
Vainillina	0,10	0,10
Sulfato ferroso (mg / 100 g polvo)	8,00	8,00
Ácido Fólico	0,38	0,38

**5.2.2.-** Composición química de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo y granular.

En el cuadro 37, se presentan los resultados obtenidos para la composición química de cada uno de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos formulados, y del polvo para pudín de chocolate comercial.

En cuanto al contenido de humedad, no se reportaron diferencias estadísticamente significativas entre muestras, y en vista de que los valores obtenidos se encontraban en el rango comprendido de 2,88 a 3,44%, se puede predecir que los mismos tendrán una gran estabilidad en el tiempo.

**Cuadro 37.** Composición química en base seca ( $\bar{x} \pm ds$ ,  $n = 3$ ) de cada uno de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico y del polvo para pudín de chocolate comercial.

<b>MUESTRAS*</b>	<b>Humedad (g / 100 g)</b>	<b>Cenizas (g / 100 g)</b>	<b>Proteína cruda (g / 100 g)</b>	<b>Grasa cruda (g / 100 g)</b>	<b>Azúcares totales (g / 100 g)</b>	<b>Almidón (g / 100 g)</b>	<b>Polifenoles (mg / 100 g)</b>
F1	3,24±0,17a	0,91±0,04a	8,05±0,08b	9,30±0,18b	58,70±0,80a	14,30±0,20b	830,00±0,00b
F2	3,06±0,06a	1,07±0,16a	7,30±0,13b	9,22±0,23b	60,00±0,87a	14,45±0,24b	750,00±0,01b
PC	2,88±0,03a	3,31±0,10a	6,16±0,04a	7,89±0,17a	63,03±1,24a	11,98±0,10a	610,00±0,02a

Los valores promedio con la misma letra en una misma fila no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza y de rango múltiple ( $p \leq 0,05$ ;  $n=3$ ).

\*: F1: polvo para pudín de chocolate enriquecido con 15% de almidón de ñame nativo; F2: polvo para pudín de chocolate enriquecido con 15% de almidón de ñame granular; PC: polvo para pudín de chocolate comercial.

Los porcentajes de humedad determinados para cada una de las formulaciones en estudio y para el producto comercial, fueron similares a los reportados por Thompson y col. (1981), en polvos de pudín de chocolate instantáneo elaborado a base de almidón de maíz, y a los valores obtenidos por Verbeken y col. (2004), al evaluar polvos para pudín preparados con carragenina y almidón nativo de maíz. Sin embargo, fueron superiores a los determinados por Vera y col. (1995) (2,20%), y a los reportados por Hayakawa y col. (2006) (1,85%), en polvos instantáneos para pudines elaborados a partir de almidón de maíz modificado.

En lo que se refiere al contenido de cenizas, tampoco se observaron diferencias significativas entre las muestras de polvos para pudín de chocolate enriquecidos en estudio; aunque si se encontraron diferencias respecto al producto comercial, el cual presentó un contenido promedio de cenizas superior y equivalente a 3,31%.

Las diferencias existentes respecto al producto comercial, podrían atribuirse a la presencia de una mayor cantidad de componentes inorgánicos, entre los cuales posiblemente destaca la fracción de componentes minerales, ya que en polvos para pudín evaluados por Vera y col. (1995), los cuales fueron enriquecidos con gran cantidad de vitaminas y minerales, se obtuvieron valores de cenizas equivalentes a 3,40%.

Sin embargo, los resultados obtenidos para el contenido de cenizas de ambas formulaciones de polvos para pudín (0,91 y 1,07%), fueron comparables a los valores presentados por Emmons y col. (1992) y Hayakawa y col. (2006), quienes evaluaron polvos para pudines obtenidos a partir de almidón de maíz modificado.

Al observar los valores determinados para el contenido de proteína y grasa cruda, se puede notar que a pesar de que no existen diferencias significativas entre las formulaciones de polvos para pudines, si se presentan diferencias entre cada una de las formulaciones en estudio respecto al producto comercial, ya que éste último fue el que presentó los valores de proteínas y grasa más bajos (6,16% y 7,89%, respectivamente).

Las diferencias reportadas para cada una de las formulaciones en estudio, respecto al polvo para pudín comercial, podrían atribuirse al hecho de que las formulaciones preparadas en el laboratorio, fueron elaboradas mediante la incorporación de una cierta proporción de cacao amargo en polvo, el cual probablemente contribuyó a incrementar la concentración de proteína y grasa en cada uno de los productos elaborados.

No obstante, a pesar de que no existen diferencias significativas para el contenido de proteína determinado entre las muestras F1 y F2, se puede apreciar que los valores correspondientes al polvo para pudín elaborado con el almidón de

ñame nativo (F1) fueron ligeramente superiores (8,05%). Esto podría atribuirse al hecho de que los procesos de modificación de almidones, haciendo uso de soluciones alcalinas, están en la capacidad de extraer una mayor cantidad de proteínas conocidas como integrales, las cuales se encuentran unidas covalentemente al complejo amilosa-amilopectina (Thomas y Atwell, 1999).

Además, cabe destacar que el contenido de proteínas y grasa, determinados en cada una de las muestras analizadas, inclusive la comercial, fueron superiores a los indicados por Kalab y col. (1985) (1,9 y 4,8%, respectivamente), por Verbeken y col. (2004) (3,7 y 2,6%), y por Vera y col. (1995), quienes reportaron valores de 1,1% de proteínas y 5,2% de grasa.

En el análisis de azúcares totales no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre muestras, ya que los valores obtenidos se encontraban en el rango comprendido entre 58,7 y 63,03%; es decir, que el polvo para pudín comercial, así como cada una de las formulaciones diseñadas en la presente investigación, presentaban aproximadamente la misma cantidad de azúcar por cada 100 g. de producto elaborado.

Polvos para pudín elaborados y analizados por Vera y col. (1995); Andrade (2006), Lim y Narsimhan, (2004); Verbeken y col. (2004) y Mohameed y col., (2006), mostraron valores de azúcares totales similares a los obtenidos en cada una de las muestras evaluadas.

Como era de esperarse, el contenido de almidón determinado en cada una de las formulaciones en estudio, mostró valores cercanos a 15% (porcentaje de almidón nativo y granular incorporado en la fase de formulación), y específicamente de 14,30% para F1 y de 14,45% para F2.

No obstante, a pesar de que el contenido de almidón fue similar para cada uno de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos, preparados a partir del almidón de ñame nativo y granular, el porcentaje de almidón determinado para la muestra de polvo para pudín de chocolate comercial (PC), fue más bajo (11,98%), ya que éste último, contaba con una determinada proporción de carragenina como agente espesante y estabilizante.

Para el contenido de polifenoles también se observaron diferencias estadísticamente significativas entre muestras, ya que los polvos para pudín de las diferentes formulaciones en estudio (F1 y F2), fueron los que presentaron los valores más altos, equivalentes a 0,83 y 0,75%, mientras que la muestra comercial reportó un valor promedio de 0,61%. Las diferencias existentes obviamente se atribuyen a la proporción bajo la cual fueron añadidos los ingredientes en la formulación, ya que la mayor o menor incorporación de cacao en polvo, determina indiscutiblemente las variaciones existentes en el contenido de polifenoles (Wollgast y Anklam, 2000; Nogales y col., 2006)

**5.2.3.-** Evaluación microbiológica de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo y granular.

Los resultados obtenidos para los análisis microbiológicos, efectuados a los polvos para pudín de chocolate enriquecidos en estudio, se presentan en el cuadro 38, donde se puede apreciar que las dos formulaciones de polvos evaluadas, así como la muestra comercial, tanto al primer día como a los treinta días de almacenamiento a temperatura ambiente, cumplieron con lo recomendado por las Normas COVENIN 1699 (1981) y COVENIN 1337 (1978), las cuales establecen valores máximos de 200 UFC.ml<sup>-1</sup> para organismos mesófilos, 50 UFC.ml<sup>-1</sup> para mohos y 100 UFC.ml<sup>-1</sup> para levaduras.

La calidad microbiológica obtenida para las formulaciones de polvos en estudio, es producto de su bajo contenido de agua libre o actividad de agua (de 0,23 y 0,25), los cuales permiten el almacenamiento del producto por un tiempo prolongado, sin que se vea comprometida la inocuidad del mismo.

**Cuadro 38.** Evaluación microbiológica de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo y granular.

FORMULACIÓN*	Día 1			Día 30		
	Aerobios mesófilos**	Hongos**	Levaduras**	Aerobios mesófilos**	Hongos**	Levaduras**
F1	$9,02 \times 10^1$	< 1	< 1	$1,50 \times 10^2$	< 1	< 1
F2	$8,70 \times 10^1$	< 1	< 1	$1,22 \times 10^1$	< 1	< 1
PC	$7,15 \times 10^1$	< 1	< 1	$9,12 \times 10^1$	< 1	< 1

\*: F1: polvo para pudín de chocolate enriquecido con 15% de almidón de ñame nativo; F2: polvo para pudín de chocolate enriquecido con 15% de almidón de ñame granular; PC: polvo para pudín de chocolate comercial.

\*\* : Expresados como UFC.g<sup>-1</sup> de polvo para pudín de chocolate enriquecido analizado.

\*\*\*: ND = No detectado

**5.2.4.-** Estudio de la estabilidad de los polvos para pudín de chocolate enriquecidos y de los pudines de chocolate enriquecidos reconstituidos.

**5.2.4.1.-** *Estabilidad de los polvos para pudín de chocolate, enriquecidos con hierro y ácido fólico.*

Se estudió la estabilidad de los polvos para pudín de chocolate, enriquecidos con hierro y ácido fólico, y de un polvo para pudín de chocolate comercial, por un período de 60 días, efectuando mediciones de color (luminosidad) y actividad de agua, a los 1, 15, 30, 45 y 60 días de haber elaborado los productos, para poder determinar la existencia o no, de diferencias estadísticamente significativas para una misma muestra a través del tiempo, y entre muestras para un tiempo de evaluación dado.

En cuanto al atributo color, evaluado en el primer día de almacenamiento (Cuadro 39), se puede apreciar que entre las muestras de polvos para pudín formulados no hubo diferencias significativas para los valores de L, a y b, a excepción del valor obtenido para la coordenada de cromaticidad "b" (9,51) en el polvo para pudín de chocolate comercial, que fue superior a los valores reportados para las formulaciones F1 y F2 (6,94 y 7,26, respectivamente).

Para determinar con mayor exactitud la existencia o no de diferencias entre las muestras de polvos para pudín de chocolate, se calcularon los valores de  $\Delta E$  (únicamente para el primer día de almacenamiento), tal como se presentan en el

**Cuadro 39.** Resultados obtenidos para los análisis físicos efectuados a las dos formulaciones de polvos para pudín de chocolate enriquecidos en estudio (al primer día de almacenamiento), y al polvo para pudín de chocolate comercial.

PARÁMETROS	MUESTRAS*		
	F1	F2	PC
COLOR			
L	51,24±0,14a	51,05±0,45a	50,83±0,19a
a	6,34±0,08a	6,41±0,02a	7,06±0,04a
b	6,94±0,04a	7,26±0,09a	9,51±0,15b
ACTIVIDAD DE AGUA (aw)	0,23±0,01a	0,25±0,03a	0,29±0,01a

Los valores promedio con la misma letra en una misma fila no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza y rango múltiple ( $p \leq 0,05$ ;  $n=3$ ).

\*: F1: polvo para pudín de chocolate enriquecido con 15% de almidón de ñame nativo; F2: polvo para pudín de chocolate enriquecido con 15% de almidón de ñame granular, PC: polvo para pudín de chocolate comercial.

cuadro 40. Al observar los resultados obtenidos entre las formulaciones de polvos para pudín de chocolate enriquecidos, y respecto a éstos con el producto comercial, se puede apreciar que la mayor diferencia de color se obtuvo entre cada una de las formulaciones en estudio (F1 y F2) y el polvo comercial, con valores de  $\Delta E$  equivalentes a 2,35 y 2,70, respectivamente.

Las diferencias existentes en la coloración de los polvos para pudín evaluados respecto al comercial, se deben a que se desconoce la proporción en la cual fueron añadidos cada uno de los ingredientes que constituyen este tipo de productos, e incluso, pudiera atribuirse a diferencias en los procesos de homogeneización de los mismos. Además, generalmente los productos comerciales incorporan a su formulación colorantes naturales o sintéticos, que modifican las características de color del producto obtenido.

En lo que se refiere a la estabilidad del color, evaluada a través del índice de luminosidad (“L”) para cada uno de los polvos para pudín de chocolate enriquecido en estudio (Cuadro 41), se puede notar que no existen diferencias significativas en ninguna de las muestras durante los 60 días de almacenamiento; además, tampoco se reportaron diferencias en los resultados obtenidos entre muestras de polvos para pudín, a ninguno de los tiempos evaluados.

En estudios similares, Ratanatriwong y col. (2007) al evaluar la estabilidad del color, medido a través de los parámetros L, a y b, en polvos para pudines elaborados a base de almidón de arroz y carragenina, encontró que durante los

**Cuadro 40.** Resultados obtenidos para los valores de  $\Delta E$ , calculados entre las muestras de polvos para pudín de chocolate enriquecidos evaluados.

PARÁMETROS	MUESTRAS*		
	F1-F2	F1-PC	F2-PC
$\Delta L$	0,19	0,41	0,22
$\Delta a$	0,07	0,72	0,65
$\Delta b$	0,32	2,57	2,25
$\Delta E^{**}$	<b>0,38</b>	<b>2,70</b>	<b>2,35</b>

\*: F1: polvo para pudín de chocolate enriquecido con 15% de almidón de ñame nativo; F2: polvo para pudín de chocolate enriquecido con 15% de almidón de ñame granular; PC: polvo para pudín de chocolate comercial.

\*\* :  $\Delta E^2 = \Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2$

**Cuadro 41.** Comportamiento a través del tiempo del color en los polvos para pudín de chocolate, enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo y granular.

POLVOS*	COLOR (L**)				
	To***	T1***	T2***	T3***	T4***
F1	51,24±0,14 <sup>a1</sup>	51,14±0,03 <sup>a1</sup>	51,07±0,07 <sup>a1</sup>	51,03±0,03 <sup>a1</sup>	51,06±0,04 <sup>a1</sup>
F2	51,05±0,45 <sup>a1</sup>	50,94±0,02 <sup>a1</sup>	50,86±0,05 <sup>a1</sup>	50,74±0,36 <sup>a1</sup>	50,71±0,40 <sup>a1</sup>
PC	50,83±0,19 <sup>a1</sup>	50,77±0,39 <sup>a1</sup>	50,72±0,27 <sup>a1</sup>	50,68±0,29 <sup>a1</sup>	50,56±0,28 <sup>a1</sup>

\*: F1: polvo para pudín de chocolate enriquecido con 15% de almidón de ñame nativo; F2: polvo para pudín de chocolate enriquecido con 15% de almidón de ñame granular; PC: polvo para pudín de chocolate comercial

\*\* : El parámetro empleado para la comparación del color entre muestras y a través del tiempo fue el índice de luminosidad "L".

\*\*\*: To: Día 1; T1: Día 15; T2: Día 30; T3: Día 45; T4: Día 60.

Los valores promedio con la misma letra en una misma fila, no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza ( $p \leq 0,05$ ;  $n=3$ ).

Los valores promedio con el mismo número en una misma columna, no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza ( $p \leq 0,05$ ;  $n=3$ )

**Cuadro 42.** Comportamiento a través del tiempo de los valores de actividad de agua (aw), en los polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo y granular.

POLVOS*	ACTIVIDAD DE AGUA (aw)				
	To**	T1**	T2**	T3**	T4**
F1	0,23±0,01 <sup>a1</sup>	0,23±0,01 <sup>a1</sup>	0,26±0,05 <sup>a1</sup>	0,27±0,02 <sup>a1</sup>	0,27±0,02 <sup>a1</sup>
F2	0,25±0,03 <sup>a1</sup>	0,26±0,01 <sup>a1</sup>	0,27±0,04 <sup>a1</sup>	0,27±0,02 <sup>a1</sup>	0,28±0,05 <sup>a1</sup>
PC	0,29±0,01 <sup>a2</sup>	0,29±0,02 <sup>a1</sup>	0,29±0,01 <sup>a1</sup>	0,29±0,06 <sup>a1</sup>	0,31±0,03 <sup>a2</sup>

\*: F1: polvo para pudín de chocolate enriquecido con 15% de almidón de ñame nativo; F2: polvo para pudín de chocolate enriquecido con 15% de almidón de ñame granular; PC: polvo para pudín de chocolate comercial

\*\* : To: Día 1; T1: Día 15; T2: Día 30; T3: Día 45; T4: Día 60.

Los valores promedio con la misma letra en una misma fila, no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza ( $p \leq 0,05$ ;  $n=3$ ).

Los valores promedio con el mismo número en una misma columna, no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza ( $p \leq 0,05$ ;  $n=3$ )

90 días que duró el estudio, no se presentaban diferencias significativas en ninguno de los parámetros evaluados a través del tiempo.

En cuanto a la actividad de agua determinada para cada una de las muestras en estudio durante 60 días de almacenamiento a temperatura ambiente (cuadro 42), se puede observar que tampoco se reportaron diferencias estadísticamente significativas, tanto para una misma muestra a través del tiempo, como entre muestras para un tiempo dado. Además, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango permitido para productos que se comercializan bajo la forma de polvos, de acuerdo a lo establecido por Thompson y col. (1983) y Emmons y col. (1992), que es entre 0,20 y 0,40.

Los resultados obtenidos indican, que posiblemente las muestras de polvos para pudines de chocolate enriquecidos a base de almidón de ñame nativo y granular, al igual que el polvo para pudín de chocolate comercial, son productos de una gran estabilidad, ya que fueron capaces de mantener ciertas características físicas, tales como el color y la actividad de agua, prácticamente invariables a través del tiempo, por lo cual podrían ser considerados como productos alimenticios de una buena calidad microbiológica y sensorial.

**5.2.4.2.- Estabilidad de los pudines de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico reconstituidos en leche..**

Los polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo (F1) y granular (F2), así como el polvo para pudín de chocolate comercial, fueron preparados a partir de la disolución de 34,7 g. de polvo / 100 ml. de leche entera completa.

Los pudines preparados a partir de los polvos para pudín de chocolate enriquecido F1 y F2, así como la muestra de pudín comercial, fueron sometidos a pruebas de estabilidad bajo almacenamiento refrigerado (forma bajo la cual será consumido) por un período de 7 días, para determinar el comportamiento de ciertas características físicas, inherentes a los pudines, tales como pH, color y viscosidad, a través del tiempo.

En cuanto al pH, los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 43 y en la figura 38, donde se puede apreciar que para las muestras de pudín elaborado a partir de almidón de ñame granular (F2) y para el pudín comercial, no se detectaron diferencias significativas en los valores de pH determinados a través del tiempo. Sin embargo, el pudín de almidón de ñame nativo (F1) disminuyó significativamente los valores de pH, desde 7,1 hasta 6,5, resultado obtenido a los 7 días de haber sido elaborado el producto y almacenado bajo refrigeración.

No obstante, al comparar los valores de pH entre muestras, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los tiempos evaluados; es decir, que independientemente de la concentración y el tipo de almidón añadido, los pudines en estudio muestran valores de pH similares al comercial.

Estos resultados fueron similares a los reportados por Barefoot y Adams (1980), en pudines de almidón de maíz nativo; Tziboula y Muir (1993), en postres de pudín obtenidos a partir de almidones de maíz y trigo céreos; y Thompson y col. (1983), en pudines instantáneos de almidón de maíz.

Para el atributo color, los valores de “L” o índice de luminosidad, determinados para cada una de las muestras de pudines de chocolate enriquecidos en estudio y para la muestra de pudín comercial, evaluados a través del tiempo, no mostraron diferencias estadísticamente significativas, ya que éstos permanecieron casi constantes, tal como se observa en el cuadro 43 y en la figura 39.

No obstante, al evaluar la viscosidad desarrollada por cada uno de los pudines formulados durante el almacenamiento (cuadro 44 y figura 40), y por el pudín de chocolate comercial, se puede notar que la única muestra que experimentó diferencias significativas a partir del tercer día de almacenamiento refrigerado, fue el pudín F1 (elaborado con 15% de almidón de ñame nativo), ya que para el tiempo T3, que equivale a 7 días de almacenamiento a bajas temperaturas, los valores de viscosidad (5667 cps) fueron inferiores a los

**Cuadro 43.** Comportamiento a través del tiempo de los valores de pH y color (L), determinados para los pudines enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo y granular.

PUDINES*	pH				COLOR (L)			
	To**	T1**	T2**	T3**	To**	T1**	T2**	T3**
F1	7,1±0,03 <sup>a1</sup>	6,9±0,23 <sup>ab1</sup>	6,7±0,30 <sup>b1</sup>	6,5±0,16 <sup>b1</sup>	34,70±0,22 <sup>a1</sup>	34,14±0,07 <sup>a1</sup>	34,00±0,05 <sup>a1</sup>	32,04±0,04 <sup>a1</sup>
F2	6,9±0,03 <sup>a1</sup>	6,9±0,23 <sup>a1</sup>	6,9±0,16 <sup>a1</sup>	6,9±0,18 <sup>a1</sup>	35,06±0,13 <sup>a1</sup>	34,92±0,04 <sup>a1</sup>	34,73±0,04 <sup>a1</sup>	32,34±0,06 <sup>a1</sup>
PC	6,8±0,10 <sup>a1</sup>	6,9±0,03 <sup>a1</sup>	6,9±0,10 <sup>a1</sup>	6,9±0,16 <sup>a1</sup>	39,68±0,15 <sup>a2</sup>	39,40±0,09 <sup>a2</sup>	39,32±0,04 <sup>a2</sup>	38,77±0,07 <sup>a2</sup>

**Cuadro 44.** Comportamiento a través del tiempo de los valores de viscosidad, determinados para los pudines enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo y granular.

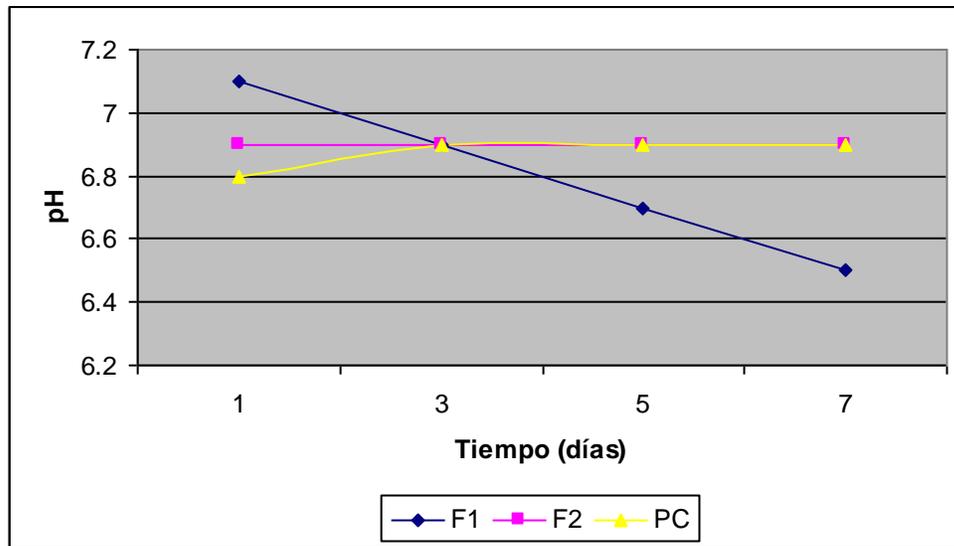
PUDINES*	VISCOSIDAD (cps.)			
	To**	T1**	T2**	T3**
F1	16.800±133,33 <sup>a1</sup>	10.667±244,33 <sup>b2</sup>	6.133±311,00 <sup>c2</sup>	5.667±89,00 <sup>c3</sup>
F2	17.667±222,33 <sup>a1</sup>	17.333±222,33 <sup>a1</sup>	16.866±88,67 <sup>ab1</sup>	15.733±133,67 <sup>b1</sup>
PC	16.600±266,66 <sup>a1</sup>	16.267±222,33 <sup>a1</sup>	15.667±222,33 <sup>a1</sup>	9.800±266,67 <sup>b2</sup>

\*: F1: pudín con 15% de almidón de ñame nativo; F2: pudín con 15% de almidón de ñame granular; PC: pudín comercial

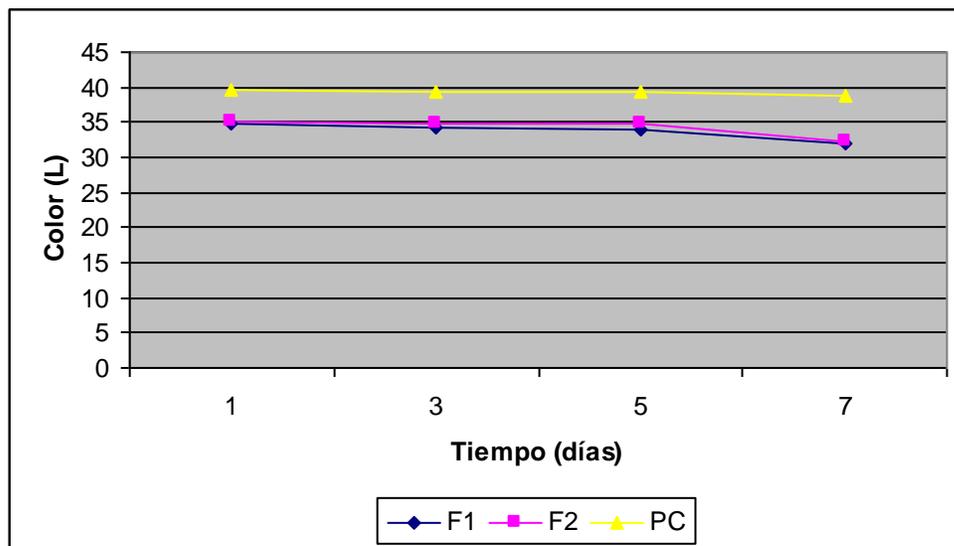
\*\* : To: Día 1; T1: Día 3; T2: Día 5; T3: Día 7.

Los valores promedio con la misma letra en una misma fila, no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza ( $p \leq 0,05$ ;  $n=3$ ).

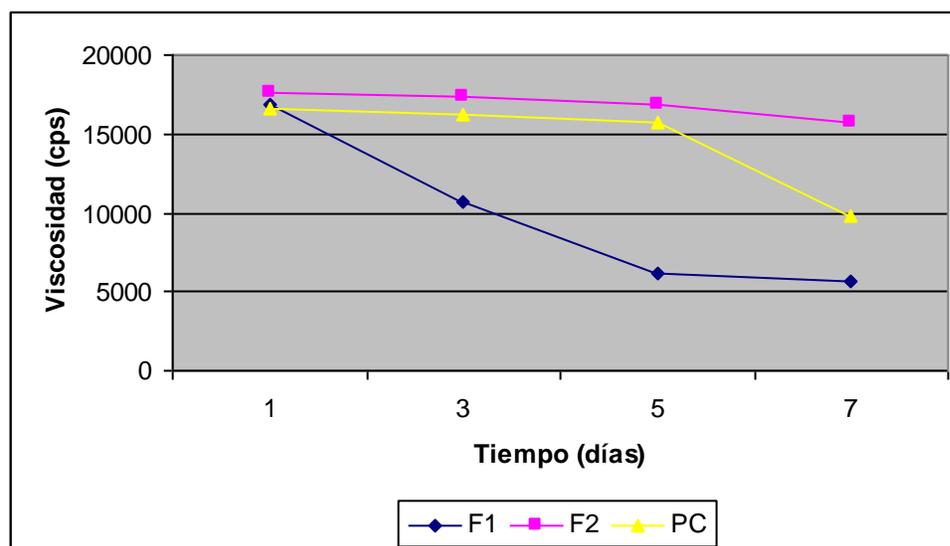
Los valores promedio con el mismo número en una misma columna, no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza ( $p \leq 0,05$ ;  $n=3$ ).



**Figura 38.** Comportamiento a través del tiempo de los valores de pH, determinados para los pudines enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo y granular (F1: pudín con 15% de almidón de ñame nativo; F2: pudín con 15% de almidón de ñame granular; PC: pudín comercial).



**Figura 39.** Comportamiento a través del tiempo del color o índice de luminosidad, obtenido para los pudines enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo y granular (F1: pudín con 15% de almidón de ñame nativo; F2: pudín con 15% de almidón de ñame granular; PC: pudín comercial).



**Figura 40.** Comportamiento a través del tiempo de la viscosidad obtenida para los pudines enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo y granular (F1: pudín con 15% de almidón de ñame nativo; F2: pudín con 15% de almidón de ñame granular; PC: pudín comercial).

obtenidos para esta misma muestra en los tiempos  $T_0$ ,  $T_1$  y  $T_2$  (16800; 10667 y 6133 cps., respectivamente).

Además, al comparar los resultados obtenidos entre muestras, también se observan diferencias estadísticamente significativas respecto al pudín F1, ya que las muestras de pudines F2 y PC, fueron las que presentaron los valores de viscosidad más elevados, para cada uno de los tiempos evaluados. Sin embargo, cabe destacar que la única muestra que logró mantener su viscosidad en valores superiores a los 15000 cps, fue la muestra de pudín F2 (formulado con almidón de

ñame granular), el cual reportó valores de viscosidad de 15733 cps. aún a los 7 días de almacenamiento refrigerado.

Este comportamiento podría atribuirse a la mayor capacidad de absorción de agua y poder de hinchamiento desarrollada por los almidones de ñame granulares (F2), durante la fase de calentamiento constante (Kaim y col., 2008); no obstante, Tziboula y Muir (1993), señalan que en productos elaborados a partir de la mezcla de almidón-leche, el factor determinante en el desarrollo de la viscosidad se genera en el enfriamiento, producto de la retrogradación de las cadenas de amilosa y amilopectina.

Los resultados obtenidos para los valores de viscosidad en las muestras de pudín de chocolate enriquecido en estudio, fueron superiores a los presentados por Thompson y col. (1983), quienes obtuvieron valores de viscosidad aparente de 13.200 cps. para pudines preparados a partir de 12% de almidón de maíz nativo; sin embargo, fueron inferiores a los reportados por Tziboula y Muir (1993), que al determinar la viscosidad de pudines formulados con 15% de almidón de maíz céreo y 15% de almidón de papa, encontraron valores de 23.000 y 27.000 cps., respectivamente; mientras que Ratanatriwong y col. (2007) encontraron valores de 24.800 cps. al determinar la viscosidad de pudines obtenidos a partir de la incorporación de 10% de almidón de arroz y 1,5% de carragenina.

**5.2.5.- Evaluación sensorial de los pudines de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, reconstituidos.**

Los polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, elaborados con almidón de ñame nativo (F1) y granular (F2), así como el polvo para pudín de chocolate comercial, fueron preparados a partir de la disolución de 34,7 g. de polvo / 100 ml. de leche entera completa, tal como se indicó anteriormente en la prueba de estabilidad.

En el cuadro 45 se presentan los resultados obtenidos en la evaluación sensorial de las dos formulaciones de pudines en estudio (F1 y F2), y de la muestra de pudín comercial (PC). En dicho cuadro se indican los promedios obtenidos para los valores de ranqueo y el estadístico de Friedman (F), los cuales fueron determinados para cada uno de los atributos sensoriales evaluados.

En primer lugar, se puede apreciar que en cuanto a los atributos color, sabor y aroma, no se detectaron diferencias significativas en la preferencia ( $P < 0,05$ ), es decir, que la incorporación de los almidones de ñame nativo y granular, conjuntamente con los agentes fortificantes añadidos (sulfato ferroso y ácido fólico), en cada uno de los pudines evaluados, aparentemente no provocó modificaciones evidentes en la percepción de estos atributos, ya que los panelistas no pudieron reportar una mayor o menor preferencia por alguna de las muestras de postres evaluados.

**Cuadro 45.-** Evaluación sensorial de los pudines de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, reconstituidos.

ATRIBUTOS SENSORIALES	MUESTRAS			
	F1*	F2*	PC*	F**
COLOR	1,88a	2,12a	2,00a	4,04
AROMA	2,38a	2,12a	2,25a	5,75
SABOR	2,06a	2,08a	1,96a	3,95
CONSISTENCIA	2,00a	2,64b	2,12a	27,25***
PREFERENCIA GLOBAL	1,86a	2,28b	1,90a	29,44***

Los valores promedio con la misma letra en una misma fila no son estadísticamente diferentes. Análisis de Friedman ( $p \leq 0,05$ ;  $n=3$ ).

\*: F1: pudín con 15% de almidón de ñame nativo; F2: pudín con 15% de almidón de ñame granular; PC: pudín comercial

\*\*F: Estadístico de Friedman

\*\*\*: Significativo al 95% de confianza.

No obstante, al estudiar el atributo “consistencia” y la preferencia global, si se detectaron diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ), ya que la muestra más preferida por el panel evaluador, fue aquella elaborada con 15% de almidón de ñame granular (F2).

La mayor preferencia por la formulación F2, respecto a la F1 (obtenida a partir de la incorporación de almidón de ñame nativo) está básicamente determinada por la consistencia adquirida por este producto, debido a la incorporación del almidón granular, ya que las proporciones bajo las cuales fueron añadidos el resto de los ingredientes (sacarosa, cacao en polvo, vainillina y agentes fortificantes) fueron las mismas en cada una de las formulaciones evaluadas.

Por lo tanto, los pudines de chocolate enriquecidos elaborados a partir de la incorporación de almidones de ñame granulares en una proporción igual al 15%, fueron preferidos respecto al producto análogo comercial.

En estudios similares realizados por otros investigadores, Ratanatriwong y col. (2006), al evaluar pudines estabilizados por almidón de arroz y carragenina y compararlos con un producto comercial, no observaron diferencias significativas en cuanto a los atributos color, sabor, aroma y viscosidad; mientras que Mohammed y col. (2006), al evaluar sensorialmente pudines preparados con diferentes concentraciones de almidón de maíz y tres tipos de azúcar (glucosa, fructosa y sucrosa), determinaron que el panel encuestado encontraba diferencias

significativas en la preferencia en función del tipo de azúcar empleado, más no en función a la concentración de almidón utilizada.

En cambio, Vera y col. (1995), al desarrollar pudines enriquecidos con vitaminas, destinados al sector del adulto mayor, y elaborados en base a almidón de maíz nativo (18,5%) y carragenina (2,0%), determinaron que su producto final tuvo una aceptabilidad del 98%, sin encontrar diferencias estadísticamente significativas en la preferencia, por edad, sexo ni condición social.

## *CONCLUSIONES*

La harina obtenida a partir de los tubérculos de ñame presentó un elevado contenido de proteínas (6,20%), fibra dietética (6,21%) y polifenoles (0,34%), componentes químicos que le otorgan buenas propiedades nutricionales, y que la convierten en un ingrediente deseable para la elaboración de diversos productos.

Los almidones de ñame nativo y modificados presentaron un alto grado de pureza, con valores para el contenido de almidón comprendidos entre 94,67 y 98,27%, ya que los métodos de extracción y purificación empleados para la obtención de los mismos fueron eficientes.

El almidón de ñame granular fue el que presentó las mejores propiedades funcionales, ya que se caracterizó por su elevada capacidad para solubilizarse en agua fría (33,07%), su gran poder de hinchamiento (29%) y absorción de agua (33 g / g almidón); menor tendencia a la retrogradación y mayor estabilidad de sus geles a ciclos de congelamiento y deshielo, sin la ocurrencia de sinéresis.

El desarrollo de un néctar de durazno pasteurizado enriquecido con calcio y ácido fólico, elaborado con harina de ñame como agente espesante, permitió obtener un producto de importancia nutricional, con una gran estabilidad física y microbiológica, ya que los valores determinados para las características de color, pH, acidez, sólidos solubles y viscosidad no mostraron diferencias

estadísticamente significativas hasta los 21 días de almacenamiento refrigerado, mientras que el conteo de aerobios mesófilos, hongos y levaduras y coliformes fecales, se encontraba dentro del rango permitido.

El néctar de durazno enriquecido con calcio y ácido fólico mostró buenas características sensoriales, ya que la incorporación de harina de ñame no provocó cambios en la preferencia, siempre y cuando se incorpore en menos de un 8%, ya que valores por encima del 12% alteran negativamente el color y la consistencia de los productos elaborados.

La formulación y elaboración de polvos para pudín de chocolate enriquecidos con hierro y ácido fólico, obtenidos a partir de almidón de ñame nativo y granular, permitió obtener productos de importancia nutricional con una gran estabilidad, ya que ciertas características físicas, tales como el color y la actividad de agua, permanecieron prácticamente invariables a través del tiempo

Los polvos para pudín de chocolate enriquecidos no mostraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a los atributos color, sabor y aroma, pero al estudiar el atributo “consistencia” y la preferencia global, si se detectaron diferencias estadísticamente significativas, ya que la muestra más preferida por el panel evaluador, fue aquella elaborada con 15% de almidón de ñame granular (F2).

## *REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS*

- ABRAHAM, T- 1993. Stabilization of paste viscosity of cassava starch by heat moisture treatment. *Starch / Stärke* 45: 131-135.
- ACQUARONE, V. y RAO, M. 2003. Influence of sucrose on the rheology and granule size of cross-linked waxy maize starch dispersions heated at two temperatures. *Carbohydrate Polymers* 51: 451-458.
- ADEBOWALE, K. y LAWAL, O. 2003. Functional properties and retrogradation behaviour of native and chemically modified starch of mucuna bean (*Mucuna pruriens*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83: 1541-1546.
- AGARWAL, S.; HORDVIK, S. y MORAR, S. 2006. Nutritional claims for functional foods and supplements. *Toxicology* 221(1): 44-49.
- AGBOOLA, S.; AKINGBALA, J. y OGUNTIMEIN, 1991. Physicochemical and functional properties of low DS cassava starch acetates and citrates. *Starch / Stärke* 43: 62-66.
- AGUIRRE, C. 2007. Modificación química del almidón presente en la harina de plátano macho (*Musa paradisiaca* L.) y su efecto en el contenido de fibra dietética.
- AKANBI, C.; GUREJE, P. y ADEYEMI, I. 1996. Effect of heat-moisture pre-treatment on physical characteristics of dehydrated yam. *Journal of Food Engineering* 28: 45-54.
- AKISSOE, N.; HOUNHOUIGAN, J.; MESTRES, C. y NAGO, M. 2004. Effect of tuber storage and pre and post blanching treatments on the physicochemical

and pasting properties of dry yam flour. *Food Chemistry* 85: 141-149.

ALMEIDA, C.; CLAUDIO, G.; RICCO, R.; DEL CIAMPO, L.; DUTRA, J. y CANTOLINI, A. 2003. Control of iron-deficiency anemia using iron-fortified orange juice. *Nutrition Research* 23: 27-33.

ALUKO, O. y KOYA, O. 2006. Some engineering properties of yam sets from two species of yams. *Journal of Food Engineering* 76: 396-401.

ALVES, R.; GROSSMANN, M.; FERRERO, C. y ZARITZKY, N.; MARTINO, M. y SIERAKOSKI, M. 2002. Chemical and functional characteristics of products obtained from yam tubers. *Starch / Stärke* 54: 476-481.

AMANI, N.; KAMENAN, A.; ROLLAND-SABATÉ, A. y COLONNA, P. 2005. Stability of yam starch gels during processing. *African Journal of Biotechnology* 4(1): 94-101.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). 1997, 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. Editorial AACC, St. Paul, USA.

AMES, B.; SHIGENA, M. y HEGEN, T. 1993. Oxidants, antioxidants and the degenerative diseases of aging. *Age* 90: 7915-7922.

ANDERSON, R. 1982. Water absorption and solubility and amilograph characteristics of roll-cooked small grain products. *Cereal Chemistry* 59: 265-269.

ANDRADE, D. 2006. Utilización de almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) para la elaboración de una mezcla de pudín saborizado. Trabajo de grado

para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía.  
Universidad Central de Venezuela.

ANTÓN, L. y MEDINA, C. 2003. Evaluación de una bebida pasteurizada de durazno, extractos de betalaínas de *Opuntia boldinghii*, acondicionada con ácido ascórbico. Tesis. Universidad Simón Rodríguez. Canoabo, Venezuela.

APPEL, L.; MOORE, T.; OBARZANEK, E.; VOLLMER, W.; SVETKEY, L.; SACKS, F.; BRAY, G.; VOGT, T.; CUTLER, J.; WINDHAUSER, M.; LIN, P. y KARANJA, N. 1997. A clinical trial of the effects of dietary patterns on blood pressure. *New English Medical Journal* 336: 1117-1124.

ARAUJO, C.; RINCÓN, A. y PADILLA, F. 2004. Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 54(2): 241-244.

ARAYA, H.; CLAVIJO, C. y HERRERA, C. 2006. Capacidad antioxidante de algunas frutas cultivadas en Chile. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 56(4): 34-42.

ARISTOY, M.; ORLANDO, L.; NAVARRO, J.; SENDRA, J. e IZQUIERDO, L. 1989. Characterization of spanish peach juice for variables used in purity control. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 37: 596-600.

ARYEE, F.; ODURO, I.; ELLIS, W. y AFUAKWA, J. 2006. The physicochemical properties of flour simples from the roots of 31 varieties of cassava. *Food Control* 17(11): 916-922.

ASEMOTA, H.; WELLINGTON, M.; ODUTUGA, A. y AHMAD, M. 1992. Effect of short - term storage on phenoloic content, o-diphe-nolase and polyphenol

activities of cut yam tubers (*Dioscorea* sp.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 60: 309-312.

ASP, N. 1992. Resistant starch. Proceedings from the second plenary meeting of EURESTA. *European Journal of Clinical Nutrition* 46(2).

ASP, N.; VAN AMELSVOORT, J. y HAUTVAST, J. 1996. Nutritional implications of resistant starch. *Nutritional Research Review* 9: 1-31.

ASPINAL, G. 1983. *The Polysaccharides*. Vol. 3. New York, Estados Unidos de América. Academic Press.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). 1995. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Washington, DC, USA.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). 1997. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Washington, DC, USA.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). 2000. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Washington, DC, USA.

ATICHOKUDOMCHAI, N.; SHOBSNGOB, S. y VARAVINIT, S. 2000. Morphological properties of acid-modified tapioca starch. *Starch/Stärke* 53: 283-289.

ATWELL, W., HOOD, D.; LINEBACK, D.; VARRIANO, E. y ZOBEL, H. 1988. The terminology and methodology associated with basic starch. *Cereal Food World* 33 (3): 306-311.

- BADUI, S. 1993. Química de los Alimentos. Editorial Alhambra Mexicana. México. 648 p.
- BAILEY, L. y GREGORY, J. 1999. Folate metabolism and requirements. *Journal of Nutrition* 780-782.
- BAREFOOT, S. y ADAMS, D. 1980. Amylase activity in sterile spoiled pudding. *Journal of Food Science* 45: 1658-1661.
- BASABE, B.; MENA, M.; FACI, M.; APARICIO, A.; LÓPEZ, A. y ORTEGA, R. 2004. Influencia de la ingesta de calcio y fósforo sobre la densidad mineral ósea en mujeres jóvenes. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 54(2).
- BASKER, D. 1988a. Critical values of differences among rank sums for multiple comparisons. *Food Technology* 42(2): 79.
- BASKER, D. 1988b. Critical values of differences among rank sums for multiple comparisons by small taste panels. *Food Technology* 42(7): 88.
- BEARD, J. 2001. Iron biology in immune function, muscle metabolism and neuronal functioning. *Journal of Nutrition*: 568-580.
- BELEIA, A.; BUTARELO, S. y SILVA, R. 2006. Modeling of starch gelatinization during cooking of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Food Science and Technology* 39: 400-405.
- BELITZ, H. y GROSCH, W. 1985. Química de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- BELLO, L.; CONTRERAS, S.; ROMERO, R.; SOLORZA, J. y JIMÉNEZ, A. 2002a. Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano (*Musa*

*paradisiaca* L.) (var. macho). *Agrociencia* 36: 169-180.

BELLO, L.; SÁNCHEZ, L.; MORENO, E. y TORO, J. 2002b. Laboratory scale production of maltodextrins and glucose syrup from banana starch. *Acta Científica Venezolana* 53: 44-48.

BEMILLER, J. 1997. Starch modification: challenges and prospects. *Starch* 49: 127-131.

BENDICH, A. 2001. Micronutrients in women's health and immune function. *Nutrition* 17: 858-867.

BERRY, C.; ANSON, K.; MILES, M.; MORRIS, V. y RUSSEL, P. 1988. Physical chemical characterization of resistant starches from wheat. *Journal of Cereal Science* 8: 203-206.

BEYER, H.; BARLUENGA, J. y WALTER, W. 1987. *Manual de Química Orgánica*. Editorial Reverté. 1084 p.

BHANDARI, M. y KAWABATA, J. 2004. Organic acid, phenolic content and antioxidant activity of wild yam (*Dioscorea spp.*) tubers of Nepal. *Food Chemistry* 88: 163-168.

BILIADERIS, C. 1991. The structure and interactions of starch with food constituents. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 69: 60-78.

BILIADERIS, C. 1992. Physical characteristics, enzymatic digestibility, and structure of chemically modified smooth pea and waxy maize starches. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 30: 925-930.

- BJÖRCK, I.; GRANFELDT, Y.; LILJEBERG, H.; TOVAR, J. y ASP, N. 1994. Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates. *American Journal of Clinical Nutrition* 59: 699-705.
- BLANCO, A.; TOVAR, J. y FERNÁNDEZ-PIEDRA, M. 2004. Caracterización nutricional de los carbohidratos y composición centesimal de raíces y tubérculos tropicales cocidos, cultivados en Costa Rica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 54(3).
- BOCCIO, J.; PÁEZ, M.; ZUBILLAGA, M.; SALGUEIRO, J.; GOLDMAN, C.; BARRADO, D.; MARTÍNEZ, M. y WEILL, R. 2004. Causas y consecuencias de la deficiencia de hierro sobre la salud humana. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 54(2).
- BONDARUK, J.; MARKOWSKI, M. y BLASZCZAK, W. 2007. Effect of drying conditions of vacuum-microwave dried potato cubes. *Journal of Food Engineering* 81: 306-312.
- BORUCH, M. 1985. The transformation of potato starch during oxidation with hypochlorite. *Starch / Stärke* 37: 91-98.
- BOWLER, P.; WILLIAMS, M. y ANGOLD, R. 1980. A hypothesis for the morphological changes which occur on heating lenticular wheat starch in water. *Starch / Stärke* 33: 186-189.
- BRENT, C. 1991. Starch digestion: Understanding and potential for improvement. *The Journal of Nutrition* 122: 170-171.
- BRYANT, C. y HAMAKER, B. 1997. Effect of time on gelatinization of corn flour and starch. *Cereal Chemistry* 74: 171- 175.

- BULÉON, A.; BIZOT, H.; DELAGE, M. y PONTOIRE, B. 1987. Comparison of X-ray diffraction patterns and sorption properties of the hydrolyzed starches of potato, wrinkled pea, smooth pea, broad bean and wheat. *Carbohydrate Polymers* 7: 461-462.
- BURGUESS, L.; HACKETT, A. y KIRBY, S. 2001. A reassessment of the fat intake of children from meat and meat products and an estimate of haem iron intakes. *Journal of Human Nutrition and Dietetics* 14: 55-61.
- CAIRNS, P.; BOGRACHEVA, T.; RING, S.; HEDLEY, C. y MORRIS, V. 1997. Determination of the polymorphic composition of smooth pea starch. *Carbohydrate Polymers* 32: 275-282.
- CARIAGA, L. y SOTO, D. 1990. Aspectos nutricionales de los adultos mayores. *Revista Iberoamericana de Geriátría y Gerontología* 19(9): 51-56.
- CARR, J. 1993. Starch, hydrocolloids and stabilizers. *Food Technology* 47 (10): 100-104.
- CASHMAN, K. 2002. Calcium intake, calcium bioavailability and bone health. *British Journal of Nutrition* 87(2): 169-177.
- CHANG, Y.; LIN, J. y LII, CH. 2004. Effect of ethanol concentration on the physicochemical properties of waxy corn starch. *Carbohydrate Polymers* 57: 89-96.
- CHARALAMPOPOULOS, D.; WANG, R.; PANDIELLA, S. y WEBB, C. 2002. Application of cereals and cereal components in functional foods: a review. *International Journal of Food Microbiology* 79: 131 -141.

- CHEFTEL, 1977. Introducción a la bioquímica y tecnología de alimentos. Vol. I. Editorial Acribia.
- CHEN, J. y JANE, J. 1994a. Preparation of granular cold – water – soluble starches prepared by alcoholic – alkaline treatments. *Cereal Chemistry* 71: 618 – 622.
- CHEN, J. y JANE, J. 1994b. Properties of granular cold – water – soluble starches prepared by alcoholic – alkaline treatments. *Cereal Chemistry* 71: 622 – 626.
- CHEN, Y. y LIN, K. 2007. Effects of heating temperature on the total phenolic compound, antioxidative ability and the stability of dioscorin of various yam cultivars. *International Journal of Food Science and Technology*: 23-37.
- CHEN, Z.; SCHOLS, H. y VORAGEN, A. 2004. Differently sized granules from acetylated potato and sweet potato starches differ in the acetyl substitution pattern of their amylose populations. *Carbohydrate Polymers* 56: 219-226.
- CHIPLONKAR, S.; VILAS, V.; SHASHIKANT, S. 2003. Relative importance of micronutrient deficiencies in iron deficiency anemia. *Nutrition Research* 23: 1355-1367.
- CHOI, S. y KERR, W. 2004. Swelling characteristics of native and chemically modified wheat starches as a function of heating temperature and time. *Starch / Stärke* 56: 181-189.
- CHOU, S.; CHIANG, B.; CHUNG, Y.; CHEN, P. y HSU, C. 2006. Effects of storage temperatures on the antioxidative activity and composition of yam. *Food Chemistry* 22(1): 618-623.

- CHUN, J.; LIM, S.; TAKEDA, Y. y SHOKI, M. 1997. Properties of high-crystalline rice amylopectin prepared in acid-alcohol media as fat replacers. *Cereals Food World* 42: 813-819.
- CIACCO, C. y D'APPOLONIA, 1977. Characterization of starches from various tubers and their use in bread-making. *Cereal Chemistry* 54: 1096-1107.
- CLAUS, C.; OTZEN, D.; BARRIE, N.; SOREN, C. y SCHÄFER, T. 1998. Enzymatic characterization of Novamyl, a thermostable  $\alpha$ -amylase. *Starch / Stärke* 1: 39-45.
- CLYSDALE, F. 2004. Functional Foods: Opportunities and Challenges. *Food technology* 58(12): 35-40.
- CODEX ALIMENTARIUS. 1981. Norma Codex Stan 44. Norma del Codex para los néctares de albaricoque, melocotón (durazno) y pera conservados por medios físicos exclusivamente.
- COLONNA, P., BULEON, A. y MERCIER, C. 1987. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. *Starch / Stärke* 23: 79-88.
- COLONNA, P.; DOUBLIER, J.; MELCION, J.; MONREDON, F. y MERCIER, C. 1984. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. Physical and macromolecular modifications. *Cereal Chemistry* 61: 538-543.
- COOKE, D. y GIDLEY, M. 1992. Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinization. *Carbohydrate Research* 227: 103-112.
- CORPORACIÓN DE RACIONALIZACIÓN Y CONSULTORÍA S.A. 1893. Estudio de factibilidad del proyecto de industrialización de la yuca y de otras raíces y

tubérculos, Tomo II. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, Iquitos, Perú.

COSTELL, E.; PASTOR, M. y DURÁN, L. 1994. Rheological parameters as stimuli of perceived sensory viscosity in nectars. *Journal of Texture Study* 32: 218-220.

COULTATE, P. 1998. *Química y Bioquímica de Alimentos*. Editorial Acribia. Zaragoza, España.

COURSEY, D. 1967. *Yams*. London UK: Langmans, Green. On line: [www.booksgoogle.com](http://www.booksgoogle.com).

COVENIN. 1977. Frutas y productos derivados. Determinación de la acidez. Norma 1151. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.

COVENIN. 1978. Método para el recuento de hongos y levaduras. Norma 1337. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.

COVENIN. 1981. Método para el recuento de microorganismos aerobios mesófilos. Norma 1699. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.

COVENIN. 1983. Frutas y productos derivados. Determinación de sólidos solubles por refractometría. N° 924-83. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.

COVENIN. 1984a. Pulpa de fruta. Determinación de la viscosidad. N° 2181-84. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.

- COVENIN. 1984b. Determinación del número más probable de coliformes, coliformes fecales y *Escherichia coli*. Norma 1104. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.
- COVENIN. 1985. Harina de arroz. Nº 2300-85. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas. Venezuela.
- COVENIN. 1995. Jugos y néctares. Características generales. Nº 1030-95. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas. Venezuela.
- CRAIG, S.; MANINGAT, C.; SEIB, P.; HOSENEY, R. 1989. Starch paste clarity. *Cereal Chemistry* 66(3): 173-182.
- CRAIL, CH. y MORALES, L. 1990. Estudio sobre diversos aspectos físicos, dietéticos y socioeconómicos de los ancianos que residen en la casa de reposo del D.F. *Revista del Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zubirán* 4: 22 – 29.
- CUBERO, B. 1984. Caracterización del cultivo de ñame en la región central de Venezuela, estudio del enraizamiento y brotación *Revista de la Facultad de Agronomía* Nº 3: 122-125.
- CUBERO, N. MONFERRER, A. y VILLALTA, J. 2002. *Aditivos Alimentarios*. Ediciones Mundi-Prensa. 240 p.
- CUMMINS, J. y ENGLYST, H. 1995. Gastrointestinal effects of food carbohydrate. *American Journal of Clinical Nutrition* 61: 938S-945S.
- DAWSON-HUGHES, B.; HARRIS, S.; KRALL, E. y DALLAL, G. 1997. Effect of calcium and vitamin D supplementation on bone density in men and women 65 years of age or older. *Journal of English Medicine* 337: 670-676.

- DEFLOOR, I.; DE GEEST, C.; SCHELLKENS, M.; MARTENS, A. y DELCOUR, A. 2001. Emulsifiers and/or extruded starch in the production of breads from cassava. *Cereal Chemistry* 68(4): 323-327.
- DEL CASTILLO, V.; ARMADA, M. y GOTIFFREDI, J. 2000. Alimentos de humedad intermedia para ancianos en base a extrusado de maíz y soya, acondicionado con calcio. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 50(3): 296 – 300.
- DELMAS, P. y FRASER, M. 1999. Huesos fuertes en la tercera edad ¿Un lujo o una necesidad? *Boletín de la OMS* 77: 159-164.
- DELMONTE, M.; RINCÓN, F.; LEÓN, G. y GUERRERO, R. 2006. Behavior of the gum from *Enterolobium cyclocarpum* in the preparation peach nectar. *Revista Técnica* 29(1).
- DÍAZ, M. y CARRERAS, M. 1993. Síntesis y caracterización del almidón oxidado para su posterior evaluación como agente aglutinante en tabletas. *Revista Cubana de Farmacia* 33(2): 98-103.
- DIZY, M.; MARTÍN, P.; CABEZUDO, M. y POLO, C. 1992. Grape, apple and pineapple juice and nectar characterization. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 60: 47-53.
- DJERASSI, C. 1992. Drugs from third world plants: The future. *Science* 258: 203-204.
- DUPRAT, F., GALLANT, D., GUILBOT, A., MERCIER, C. y ROBIN, J.P. 1980. *Les polymères végétaux*. Paris, Monties. pp. 176-231.

- DWYER, J.; DWYER, K.; SCRIBNER, R.; SUN, P.; NICHOLSON, L.; DAVIS, I. y HOHN, A. 1998. Dietary calcium, calcium supplementation, and blood pressure in African American people. *American Journal of Clinical Nutrition* 68: 648-655.
- FORSSELL, P. 1995. Hypochlorite oxidation of barley and potato starch. *Starch / Stärke* 47: 371.
- EASTMAN, J. y MOORE, C. 1984. Cold water soluble granular starch for gelled food composition. U.S. Patent 4465702.
- EGE, S. 1997. *Química orgánica. Estructura y reactividad*. Ediciones Reverté.
- ELIASSON, A. 1985. Starch gelatinization in the presence of emulsifiers. A morphological study of wheat starch. *Starch / Stärke* 37: 411-415.
- EMMONS, D.; BECKETT, D. y LARMOND, E. 1992. Physical properties and storage stability of milk-based puddings made with various starches and stabilizers. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal* 5(2): 72-76.
- ENGLYST, H. y CUMMINS, J. 1987. Digestion of polysaccharides of potato in the small intestine of man. *American Journal of Clinical Nutrition* 44: 423-431.
- ENGLYST, H.; KINGMAN, S. y CUMMINGS, J. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition* 46(2): 33-50.
- FAIRWEATHER, S. y TEUCHER, B. 2002. Iron and calcium bioavailability of fortified foods and dietary supplements. *Nutricional Review*. 60: 360-367.

- FALADE, K.; OLURIN, T.; IKE, E. y AWORH, O. 2007. Effect of pretreatment and temperature on air-drying of *Dioscorea alata* and *Dioscorea rotundata* slices. *Journal of Food Engineering* 80: 1002-1010.
- FAO. 1991. Raíces, tubérculos, plátanos y bananas en la nutrición humana. Roma, Italia. Colección FAO: Alimentación y Nutrición humana N 24. 126p.
- FAO. 1998. Tropical starch misses market. *Agriculture* 21.
- FARHAT, I.; OGUNTONA, T. y NEALE, R. 1999. Characterization of starches from West African yams. *Journal of the Science of Food and Agriculture*: 2105-2112.
- FARHAT, I.; PROTZMANN, J.; BECKER, A.; VALLÈS-PÀMIES, B.; NEALE, R. y HILL, S. 2001. Effect of the extent of conversion and retrogradation on the digestibility of potato starch. *Starch / Stärke* 53: 431-436.
- FENNEMA, O. 1980. *Química de los alimentos*. Editorial Acribia ,S.A. Zaragoza. España.
- FIGUEROA, J.; ACERO, M.; VASCO, N.; LOZANO, A.; FLORES, L. y GONZÁLEZ J. 2001. Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 51(3): 293-302.
- FIOREZE, R. y MORINI, B. 2000. Yam (*Dioscorea sp.*) drying with different cuts and temperatures: Experimental and simulated results. *Ciencia y Tecnología de Alimentos* 20(2).
- FREITAS, R.; PAULA, R.; FEITOSA, J.; ROCHA, S. y SIERAKOWSKI, M. 2004. Amylose contents, rheological properties and gelatinization kinetics of yam

(*Dioscorea alata*) and cassava (*Manihot utilissima*) starches. Carbohydrate Polymers 55: 3-8.

FU, Y.; CHEN, S. y LAI, Y. 2004. Centrifugation and foam fractionation effect on mucilage recovery from *Dioscorea* (yam) tuber. Journal of Food Science 69(9): 509-514.

GALLANT, B.; BEWA, H.; BUY, Q.; BOUCHET, B.; SZYLIT, O. y SEALY, L. 1982. On ultrastructural and nutritional aspects of some tropical tuber starches. Starch / Stärke 8: 255-262.

GALLANT, O.; BOUCHET, B. y BULEON, A. y PEREZ, S. 1992. Physical characteristics of starch granules and susceptibility to enzymatic degradation. European Journal of Clinical Nutrition. 46: 3S-16S.

GANGA, Z. y CORKE, H. 1999. Physical properties of starch of Asian-adapted potato varieties. Journal of the Science of Food and Agriculture 79: 1642-1646.

GARCÉS, A.; SALIM, M. y GARCÉS, A. 2006. Disminución de homocisteína plasmática con vitaminas b6, B12 y ácido fólico. Su efecto en la concentración de lípidos en pacientes con hiperlipoproteinemia secundaria tipo IV, con y sin tratamiento con Lovastatina. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 56(1): 36-40.

GARCÍA, V.; COLONNA, P.; BOUCHET, B. y GALLANT, D. 1997. Structural changes of cassava starch granules after heating at intermediate water contents. Starch / Stärke 49: 171-179.

GARCÍA, A.; JIMENÉZ-ESCRIG, A.; MARTÍN, N.; BRAVO, I.; SAURA, F. 1999. Assessment some parameters involved in the gelatinization and

retrogradation of starch. Food Chemistry 66: 181-187.

GARCIA, A. y RALEIGH, W. 1998. Physicochemical characterization of starch from Peruvian sweet potato selections. Starch / Stärke 50: 331-337.

GEBRE, T.; ABABA, A. y SCHMIDT, P. 1998. Some physico-chemical properties of *Dioscorea* starch from Ethiopia. Starch/Stärke 50: 241-246.

GEBRE, T. y SCHMIDT, P. 1996. Starch / Stärke 48: 208.

GEY, K. 1990. The antioxidant hypothesis of cardiovascular disease: epidemiology and mechanisms. Biochemical Society 18: 1041-1045.

GIESE, J. 1995. Measuring physical properties of foods. Food Technology 49(2): 54-63.

GLISKMANN, M. 1982. Food application of starch and gum. Food Carbohydrates 8(23): 270-275.

GONZALEZ, Z. 1997. Evaluación de almidones de arroz y trigo modificados por métodos químicos: acetilación y oxidación. Trabajo de Ascenso. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela.

GONZÁLEZ, R.; MORA, R.; HERNÁNDEZ, H.; SÁNCHEZ, M. y BELLO-PÉREZ, L. 2007. The influence of time and storage temperature on resistant starch formation from autoclaved debranched banana starch. Food Research International 40: 304-310.

GONZÁLEZ, O. y PACHECO, E. 2006. Propiedades físicas y reológicas de la harina de banana verde (*Musa AAA*) en la elaboración de geles de piña (*Ananas comosus* L. Merr.).

- GONZALEZ, Z. y PEREZ, E. 2003. Evaluación Físico-Química y Funcional de Almidones de Yuca (*Manihot esculenta* Crantz) Pregelatinizados y Calentados con Microondas. *Acta Científica Venezolana* 54: 127-137.
- GORMLEY, R. y WALSH, T. 1999. Effects of boiling, warm-holding, mashing and cooling on the levels of enzyme resistant potato starch. *International Journal of Food Science and Technology* 34: 281-286.
- GUNARATNE, A. y HOOVER, R. 2002. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate Polymers*: 112-117.
- GURAYA, H.; JAMES, CH. y CHAMPAGNE, E. 2001. Effect of enzyme concentration and storage temperature on the formation of slowly digestible starch from cooked debranched rice starch. *Starch / Stärke* 53: 131-139.
- HAN, X.; CAMPANELLA, O., GUAN, H.; KEELING, P. y HAMAKER, B. 2002. Influence of maize starch granule associated protein on the rheological properties of starch pastes. *Carbohydrate Polymers* 49: 315-321.
- HAN, X. y HAMAKER, B. 2002. Functional and microstructural aspects of soluble corn starch in pastes and gels. *Starch / Stärke* 52: 76-80.
- HANSEN, M.; BAECH, S.; THOMSEN, A.; TETENS, I. y SANDSTROM, B. 2005. Long-term intake of iron fortified whole meal rye bread appears to benefit iron status of women. *Journal of Cereal Science* 42: 165-171.
- HAYAKAWA, S.; JIANG, S.; OGAWA, M. e IZUMORI, K. 2006. Rheological characteristics of heat-induced custard pudding gels with antioxidative activity. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 70(12): 2859-2867.

- HEATH, A. y FAIRWEATHER, S. 2002. Clinical implications of changes in the modern diet: iron intake, absorption and status. *Best Practice and Research Clinical Haematology* 15(2): 225-241.
- HERMANSSON, A. y SVEGMARK, K. 1996. Developments in the understanding of starch functionality. *Trends in Food Science and Technology* 7: 345-353.
- HERNÁNDEZ, O.; EMALDI, U. y TOVAR, J. 2008. In vitro digestibility of edible films from various starch sources. *Carbohydrate Polymers* 71: 648-655.
- HERNÁNDEZ, J.; PÉREZ, G.; MÉNDEZ, G.; BELLO-PÉREZ, L. y SOLORZA, J. 2004. Thermal and viscoelastic properties of starch isolated from mexican corn hybrids. *Acta Científica Venezolana* 55: 276-287.
- HERNÁNDEZ, M.; SALAZAR de M, E. y ALVÁREZ-MARTÍNEZ, L. 2005. Panificación con harinas compuestas de trigo (*Triticum vulgare*) y de ocumo (*Xanthosoma sagittifolium*), procesadas por diversos métodos de secado. En: *Las Aráceas comestibles: Ocumo y Taro*.
- HIRSCH, J. y KOKINI, J. 2002. Understanding the mechanism of cross-linking agents through swelling behaviour and pasting properties of cross-linked waxy maize starches. *Cereal Chemistry* 79: 102-107.
- HIZUKURI, S.; KANEBO, T. y TAKEDA, Y. 1983. Measurement of the chain length of amylopectin and its relevance of the origin of crystalline polymorphism of starch granules. *Acta Bioquímica y Biofísica* N°760: 188-191.
- HOLM, J.; BJÖRCK, I.; ASP, N., SJÖBERG, L.; y LUNDQUIST, I. 1985. Starch availability in vitro and in vivo after flaking, steam-cooking and popping in wheat. *Journal of Cereal Science* 115: 93-103.

- HOLM, J.; LUNDQUIST, I.; BJÖRCK, I.; ELIASSON, A. y ASP, N. 1988. Degree of starch gelatinization, digestion rate of starch in vitro, and metabolic response in rats. *The American Journal of Clinical Nutrition* 47: 1010-1016.
- HOOVER, R. 2001. Composition, molecular structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate Polymers* 45: 253-267.
- HOOVER, R. y HADZIYEV, D. 1981. The effect of monoglycerides on amylose complexing during a potato granule process. *Starch/Stärke* 33: 346-355.
- HOOVER, R. y MANUEL, H. 1995. A comparative study of the physicochemical properties of legume starches from two lentil cultivars. *Food Chemistry* 53: 275-284.
- HOOVER, R. y SOSULSKI, F. 1986. Effect of cross-linking on functional properties of legume starches. *Starch / Stärke* 38(5): 149-155.
- HOOVER, R. y VASANTHAN, 1994. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical of cereal, legume, and tuber starches. *Carbohydrate Research* 252: 22-53.
- HORTON, S. y ROSS, J. 2003. The economics of iron deficiency. *Food Policy* 28: 51-75.
- HOU, W.; LEE, M.; CHEN, H.; LIANG, W.; HAN, C.; LIU, Y. y LIN, Y. 2001. Antioxidant activities of Dioscorin, the storage protein of yam (*Dioscorea spp.*) tuber. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 49: 4956-4960.
- HOU, W.; LIU, J.; CHEN, H.; CHEN, T.; CHANG, C. y LIN, Y. 1999. Dioscorin, the major tuber storage protein of yam, with carbonic anhydrase and trypsin

- inhibitor activities. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 47: 2168-2172.
- HOWLING, D. 1980. The influence of structure of starch on its rheological properties. *Food Chemistry* 6:51-56.
- HSU, C.; HURANG, S.; CHEN, W.; WENG, Y. y TSENG, C. 2004. Qualities and antioxidant properties of bread as affected by the incorporation of yam flour in the formulation. *International Journal of Food Science and Technology* 39: 231-238.
- HUANG, Y.; WONG, Y.; WUENG, S.; CHENG, CH. y SU, K. 2001. Nutrient intakes and iron status of elderly men and women. *Nutrition Research* 21: 967-981.
- HUNG, P. y MORITA, N. 2005. Physicochemical properties of hydroxypropylated and cross-linked starch from A-type and B-type wheat starch granules- Review. *Carbohydrate Polymers* 59: 239-246.
- HUNTER LAB MANUAL. 2001. Hunter Associates Laboratory Universal software version 3.8 ISO 9001 certified.
- HURRELL, R.; BOTHWELL, T.; COOK, J.; DARY, O.; DAVIDSON, L.; FAIRWEATHER, T.; HALLBERG, L.; LYNCH, S.; ROSADO, J.; WALTER, T. y WHITTAKER, P. 2002. The usefulness of elemental iron for cereal flour fortification. *Nutritional Reviews* 60: 391-406.
- IKEDI OBI, C. y OTI, E. 1983. Some biochemical changes associated with post-harvest storage of white yam (*Dioscorea rotundata*) tubers. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 34: 1123-1129.
- INGLETT, G. 2001. New grain products and their beneficial components. *Nutrition Today* 36: 66 – 68.

INSTITUTO NACIONAL DE NUTRICIÓN-FUNDACIÓN CAVENDES. 1990. Metas y guías de alimentación para Venezuela. Archivos Venezolanos de Nutrición 3: 99-109.

INSTITUTO NACIONAL DE NUTRICIÓN. 2000. Valores de Referencia de energía y nutrientes para la población venezolana. Publicación N°53. Serie de cuadernos azules. Caracas, Venezuela.

IQBAL, M.; ISHAQ, M.; KAZMI, K.; YOUSUF, F.; MEHBOOBALI, N.; ALI, S.; KHAN, A. y WAQAR, M. 2005. Role of vitamins B6, B12 and folic acid on hyperhomocysteinemia in a Pakistani population of patients with acute myocardial infarction. Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases 15: 100-108.

ISHIGURO, 2000. Retrogradation of potato starch. Starch / Stärke 8(1): 12-18.

IZUNDU, A. 1995. Polyphenol activity and inhibition of browning reaction in *Dioscorea dumetorum* tubers. Journal of Root Crops 21(1): 12-16.

JACOBS, H. y DELCOUR, J. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch with retention of the granular structure. Journal of Agriculture and Food Chemistry 46: 2895-2905.

JACOBSON, M.; OBANNI, M. y BeMILLER, J. 1997. Retrogradation of starches from different botanical sources. Cereal Chemistry 74: 571-578.

JANE, J.; KASEMSUWAN, T.; CHEN, F. y JULIANO, B. 1996. Phosphorus in rice and other starches. Cereals Food World 41: 827-832.

- JAYAKODY, L. y HOOVER, R. 2000. The effect of litherization on cereal starch granules. *Food Research International* 35: 665-680.
- JAYAKODY, L.; HOOVER, R.; LIU, Q. y WEBER, E. 2005. Studies on tuber and root starches I. Structure and physicochemical properties of Innala (*Solenostemon rotundifolius*) starches grown in Sri Lanka. *Food Research International* 38: 615-629.
- JAYAKODY, L.; HOOVER, R.; LIU, Q. y DONNER, E. 2007. Studies on tuber starches. II. Molecular structure, composition and physicochemical properties of yam (*Dioscorea spp.*) starches in Sri Lanka. *Carbohydrate Polymers* 10:1016-1023.
- JENKINS, P. y DONALD, A. 1997. The effect of acid hydrolysis on native starch. Granule structure. *Starch / Stärke* 49: 262-267.
- JENKINS, D.; KENDALL, C. y VUKSAN, V. 2000. Viscous fiber, health claims and strategies to reduce cardiovascular disease risk. *Journal of Clinical Nutrition* 71: 673-678.
- JULIANO, 1971. . A simplified assay for milled rice amylose. *Cereal Science Today* 16(10): 334-360.
- JURY, A.; ARMADA, M.; MARGALEF, M. y CORIMAYO, J. 1994. Producción, caracterización y aplicaciones en alimentos de almidones modificados de maíz. *Información Tecnológica* 5(1): 43-50.
- KAHAN, G.; COOPER, D.; PAPAVALIOU, A. y KRAMER, A. 1973. Expanded tables for determining significance of differences for ranked data. *Food Technology* 27(5): 68.

- KALAB, M.; VOISEY, P. y EMMONS, D. 1985. Heat induced milk gels. Preparation of gels and measurement of firmness. *Journal of Dairy Science* 54(2): 178-181.
- KALUZA, W.; McGRATH, R.; ROBERTS, T. y SHORODER, H. 1980. Separation of phenolics of sorghum bicolor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 28: 1191-1196.
- KARIM, A.; NADIHA, M.; CHEN, F.; PHUAH, Y.; CHUI, Y. y FAZILAH, A. 2008. Pasting and retrogradation properties of alkali-treated sago (*Metroxylon sagu*) starch. *Food Hydrocolloids* 22: 1044-1053.
- KAROVIEOVÁ, J.; KOHAJDOVÁ, Z. 2003. Lactic acid fermented vegetable juices. *Horticultural Science* 30(4): 152-158.
- KAUR, C. y KAPOOR, H. 2002. Antioxidant activity and total phenolic content of some Asian vegetables. *International Journal of Food Science and Technology* 37: 153-161.
- KAUR, M.; SANDHU, K.; SINGH, N. y LIM, S. 2008. A comparison of native and oxidized normal and waxy corn starches: physicochemical, thermal, morphological and pasting properties. *LWT* 41: 1000-1010.
- KAUR, L.; SINGH, N. y SINGH, J. 2004. Factors influencing the properties of hydroxypropylated potato starches. *Carbohydrate Polymers* 55: 211-223.
- KAUR, L.; SINGH, N. y SINGH, N. 2005. Effect of cross-linking on some properties of potato starches. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 25: 56-59.
- KAWELL, G.; LIPPERT, B.; WILSKY, C.; HERRLINGER, K.; HUTSON, A.; THERIAQUE, D.; RAMPERSAUD, G.; CERDA, J. y BAILEY, L. 2000. Folate

status of elderly women following moderate folate depletion responds only to a higher folate intake. *Journal of Nutrition*: 1584-1589.

KEETELS, C.; VLIET, T. y WALSTRA, P. 1996. Gelation and retrogradation of concentrated starch systems. *Food Hydrocolloids* 10: 343-353.

KIM, H., MUHRBECK, P. y ELIASSON, A. 1993. Changes in rheological properties of hydroxypropylated potato starch pastes during freeze-thaw treatments. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 61: 109-116.

KITAMURA, S.; YONEDA, S. y TUGE, T. 1984. Study on the retrogradation of starch. I. Particle size and its distribution of amylose retrograded from aqueous solutions. *Carbohydrate Polymers* 4: 127-136.

KORZEN, S. y O'DOHERTY, K. 2006. Heart disease among post-menopausal women: Acceptability of functional foods as a preventive measure. *Appetite* 46(2): 152-163.

KREBS, N. 2000. Dietary zinc and iron sources, physical growth and cognitive development of breastfed infants. *Journal of Nutrition* 130: 358-360.

KUAKPETOON, D. y WANG, Y. 2001. Characterization of different starches oxidized by hypochlorite. *Starch / Stärke* 53: 211.

KUMAR, N.; YADAV, S.; DHAMIJA, S. y YADAV, B. 2001. Optimization of enzymatic hydrolysis of pearl millet for glucosa production. *Starch / Stärke* 53: 330-335.

KUMARI, M.; UROOJ, A. y PRASAD, N. 2007. Effect of storage on resistant starch and amylose content of cereal-pulse based ready-to-eat commercial products. *Food Chemistry* 102: 1425-1430.

- KVASNICKA, F. y HALMP, J. 1984. Study of physico-chemical properties of oxidized starches. *Food Technology* 58: 87-100.
- LAHTEENMAKI, L. 2003. Consumers and functional foods. En: *Functional dairy products*. Woodhead Publication Ltd. Cambridge, USA.
- LAPE, I. y TRECHE, S. 1994. Nutritional quality of yam (*Dioscorea sp.*) flours for growing rats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- LATHAM, M.; ASH, D.; NDOSSI, G.; MEHANSHO, H. y TATALA, S. 2001. Micronutrient dietary supplements. A new fourth approach. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 51(1): 37-41.
- LAURENTÍN, A.; CÁRDENAS, M.; RUALES, J.; PÉREZ, E. y TOVAR, J. 2003. Preparation of indigestible pyrodextrins from different starch sources. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 51: 5510-5515.
- LAUZÓN, R.; SHIRAISHI, K.; YAMAZAKI, M.; SUGIYAMA, N. y KAWABATA, A. 1995. Physicochemical properties of yam starch. *Food Hydrocolloids* 9: 77-81.
- LAYRISE, M.; GARCÍA, N. 1997. Estrategia para la prevención y disminución de la prevalencia de hierro a través de la alimentación. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 5(7): 22-33.
- LAYRISSE, M.; GARCÍA, N.; SOLANO, L.; BARÓN, M.; ARGUELLO, F.; LLOVERA, D.; RAMÍREZ, J.; LEETS, I. y TROPPER, E. 2000. Iron bioavailability in humans from breakfast enriched with iron bis-glycine chelate, phytates and polyphenols. *Journal of Nutrition* 130: 2195-2199.
- LAWAL, O. 2004. Composition, physicochemical properties and retrogradation characteristics of native, oxidized, acetylated and acid-thinned new cocoyam

(*Xanthosoma sagittifolium*) starch. Food Chemistry 87:204-218.

- LAWAL, O. ABEBOWALE, K.; OGUNSANWO, B.; BARBA, L. y ILO, N. 2005. Oxidized and acid thinned starch derivatives of maize: functional characteristics, wide angle X-ray diffractometry and thermal properties. International Journal of Biological Macromolecules 33: 71-79.
- LÈCLERE, J.; BIRLOUEZ, I. y MELI, M. 2002. Fortification of milk with iron-ascorbate promotes lysine glycation and tryptophan oxidation. Food Chemistry 76: 491-499.
- LEE, P.; BROOKS, S.; KIM, O.; HEITLINGER, L. y LEBENTHAL, E. 1985. Digestibility of native and modified starches: In vitro studies with human and rabbit pancreatic amylases and in vivo studies in rabbits. The Journal of Nutrition: 93-103.
- LEELAVATHI, K.; INDRIANI, D. y SIDHU, J. 1987. Amylograph pasting behavior of cereal and tuber starches. Starch / Stärke 39(11): 378-381.
- LELOUP, V.; COLONNA, P.; RING, S.; ROBERTS, K. y WELLS, B. 1992. Microstructure of amylose gels. Carbohydrate Polymers 18: 189-197.
- LEONEL, M.; MISCHAN, M.; ZAMBELLO, S.; LATURO, R. y DUARTE, J. 2006. Efeitos de parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de produtos expandidos de inhame. Ciência y Tecnologia de Alimentos 26(2).
- LEWANDOWICZ, G., FORNAL, J. y WALKOWSKI, A. 1997. Effect of microwave radiation on physico-chemical properties and structure of potato and tapioca starches. Carbohydrate Polymers 34:213-230, 1997.

- LIGHT, M. 1990. Modified food starches: Why, what, where and how. *Cereal Food World* 35(11): 1082-1092.
- LII, C.; CHANG, S. y YOUNG, Y. 1982. Physical properties of starch from Cavendish banana fruit. *Starch / Stärke* 34: 184-188.
- LIM, H. y NARSIMHAN, G. 2005. Pasting and rheological behavior of soy protein-based pudding. *Food Science and Technology* 39(4): 344-350.
- LIM, S. y SEIB, A. 1993. Preparation and properties of wheat corn starches phosphates. *Cereal Chemistry* 76(6): 938-943.
- LIN, J.; LU, S.; LIOU, Y. y LIOU, H. 2006. Antioxidant and hypolipidaemic effects of a novel yam noodle in an in vivo murine model. *Food Chemistry* 94(3): 377-384.
- LIU, Q. 2002. A study of enzymatic hydrolysis of starch potato pulp. *Journal of Food Science* 67(6): 2113-2117.
- LU, T.; DUH, CH.; LIN, J. y CHANG, Y. 2008. Effect of granular characteristics on the viscoelastic properties of corn and rice starches. *Food Hydrocolloids* 22: 164-173.
- LIU, H.; RAMSDEN, L. y CORKE, H. 1998. Physical properties of cross-linked and acetylated normal and waxy rice starch. *Starch* 51(7): 249-252.
- LIU, H.; RAMSDEN, L. y CORKE, H. 1999. Physical properties and enzymatic digestibility of hydroxypropylated and normal maize starch. *Carbohydrate Polymers* 51: 213-221.

- LYNCH, S. 2004. The impact of iron fortification on nutritional anaemia. *Best Practice and Research Clinical Haematology* 18(2): 333-346.
- LYNCH, S.; FINCH, C.; MONSEN, E. y COOK, J. 1992. Irons status of elderly Americans. *American Journal of Clinical Nutrition* 36: 1032-1045.
- MA, W. y ROBYT, J. 1987. Preparation and characterization of soluble starches having different molecular sizes and composition by hydrolysis in different alcohols. *Carbohydrate Research* 166: 283-297.
- MADHUSUDHAN, B.; SUSHEELAMMA, N. y THARANATHAN, R. 1993. Studies on sweet potato: Part II: Isolation and characterization of starch. *Starch / Stärke* 45: 8-12.
- MALI, S.; GROSSMANN, M.; GARCÍA, M.; MARTINO, M. y ZARITZKY, N. 2005. Mechanical and thermal properties of yam starch films. *Food Hydrocolloids* 19: 157-164.
- MARTIN, F. y RUBERTE, R. 1986a. The polyphenol of *Dioscorea alata* (yam) tubers associated with oxidative browning. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 24(1): 67-70.
- MARTIN, F. y RUBERTE, R. 1986b. Bitterness of *Dioscorea alata*. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 23(6): 1218-1219.
- MARTÍNEZ, N.; CAMACHO, M.; MARTÍNEZ, J.; MARTÍNEZ, J. y FITO, P. 2002. Iron deficiency and iron fortified foods-a review. *Food Research International* 35: 225-231.
- MARTÍNEZ, F.; LÓPEZ, M.; ZAZUETA, J. y MORALES, E. 2005. Preparación y propiedades de almidones pregelatinizados de yuca (*Manihot esculenta*

Crantz) y jícama (*Pachyrhizus erosus*) usando calentamiento óhmico. *Agrociencia* 39: 275-283.

MAZUR, E.; SCHOCH, T. y KITE, F. 1957. Graphical analysis of the Brabender viscosity curves of the various starches. *Cereal Chemistry* 59: 265-269.

McCARTY, M. 2007. High-dose folate may improve endothelial function in acute coronary syndrome and other pathologies associated with increased stress oxidative. *Medical Hypotheses* 5: 1-8.

McPERSON, A. y JANE, J. 1999. Comparison of waxy potato with other root and tuber starches. *Carbohydrate Polymers* 40: 57-70.

MERCA, F. y JULIANO, B. 1981. Physicochemical properties of starch of intermediate-amylosa and waxy rice differing in grain quality. *Starch/Stärke* 33: 253-260.

MESTRES, C. 1996. Los estados físicos del almidón. En *Memorias de Conferencia Internacional sobre Almidón. Propiedades Físico-químicas, Funcionales y Nutricionales. Usos. Escuela Politécnica Nacional del Ecuador* p. 1-16.

MEZA, K.; BELLO, L.; CONTRERAS, S. y PAREDES, O. 2001. Functional properties of corn, banana and potato starch blends. *Acta Científica Venezolana* 52: 62-67.

MIAO, Y.; ZHANG, Y.; LIM, P.; KANJANAPAN, Y.; MORI, T.; CROFT, K.; EARL, J.; LEE, S.; MCKENZIE, K.; HU, L. y WHITWORTH, J. 2007. Folic acid prevents and partially reverses glucocorticoid-induced hypertension in the rat. *Journal of Hypertension* 20: 304-310.

- MILES, M.; MORRIS, V.; ORFORD, P. y RING, S. 1984. The roles of amylose and amylopectin in gelation and retrogradation of starch. *Carbohydrate Research* 135: 271-281.
- MILES, M.; MORRIS, V. y RING, S. 1985. Gelation of amylose. *Carbohydrate Research* 135: 257-269.
- MIQUEL, J.; RAMÍREZ, A.; RAMÍREZ, J. y DÍAZ, J. 2006. Menopause: A review on the role of oxygen stress and favorable effects of dietary antioxidants. *Archives of Gerontology and Geriatrics* 42: 289-306.
- MIYAZAKI, K.; KUMAMOTO, T.; KAGOSHIMA, K. y KUMAMOTO, O. 2000. Retrogradation of Sweetpotato starch. *Starch/Stärke* 52(1): 13-17.
- MOHAMEED, H.; ABU, B. y EASSA, A. 2006. Flow properties of corn starch milk sugar system prepared at 368,15 K. *Journal of Food Engineering* 77(4): 958-964.
- MOORTHY, S. 2002. Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches. *Starch / Stärke* 54: 559-592.
- MORA, A.; FARRELL, H.; ATTAIE, R.; McWHINNEY, V. y WANG. 2007. Effects of bovine and caprine Monterrey Jack cheeses fortified with milk calcium on bone mineralizations in rats. *Internacional Dairy Journal* 17(3): 255-267.
- MORALES de LEÓN, J.; MERCADO, M. y CECIN, P. 1997. Desarrollo de una pasta para sopa diseñada de acuerdo a los gustos y recomendaciones nutricias para los ancianos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 47(2): 152 – 156.

- MOSCHONIS, G. y MANIOS, Y. 2002. Skeletal site-dependent response of bone mineral density and quantitative ultrasound parameters following 12 month dietary intervention using dairy products fortified with calcium and vitamin D: the postmenopausal Health Study. *British Journal of Nutrition* 96: 1140-1148.
- MUIR, J. y O'DEA, K. 1992. Measurement of resistant starch: factors affecting the amount of starch escaping digestion in vitro. *The American Journal of Clinical Nutrition* 56: 123- 127.
- MUZAC, I.; ASEMOTA, H. y AHMAD, M. 1993. Biochemical composition and storage of Jamaican yams (*Dioscorea spp.*). *Journal of Science and Food Agriculture* 62: 219-224.
- NEUHOUSER, M. y BERESFORD, S. 2001. Folic acid: Are the current fortification levels adequate? *Nutrition* 17: 868-872.
- NEWELL, G. y Mc FARLANE, J. 1987. Expanded tables for multiple comparison procedures in Analysis of ranked data. *Journal of Food Science* 52: 1721.
- NIBA, L.; BOKANGA, M.; JACKSON, F.; SCHLIMME, D. y LI, B. 2001. Physicochemical properties and starch granular characteristics of flour from various *Manihot esculenta* (cassava) genotypes. *Journal of Food Science* 67(5): 1701-1705.
- NIMENIBO, R. 2003. Control of hyperlipidaemia, hypercholesterolaemia and hyperketonaemia by aqueous extract of *Dioscorea dumetorum* tuber. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* 2(1): 183-189.
- NJITANG, Y. y MBBOFUNG, C. 2003. Development of taro (*Colocassia esculenta*) flour as an ingredient for processing: effect of gelatinization and drying

temperature on the drying kinetics and colour of flour. *Journal of Food Engineering* 58: 259-265.

NKALA, D.; SIBANDA, S.; TOMASIK, P. y PALASINSKI, M. 1994. Isolation and properties of starch from wild yam from Zimbabwe. *Starch/Stärke* 46: 85-88.

NODA, T.; TSUDA, S.; MORI, M.; TAKIGAWA, S.; ENDO, C. y SAITO, K. 2004. The effect of harvest dates on the starch properties of various potato cultivars. *Food Chemistry* 86: 119-125.

NOGALES, J.; GRAZIANI, L. y ORTIZ, L. 2006. Cambios físicos y químicos durante el secado al sol del grano de cacao fermentado. *Agronomía Tropical* 56(1).

OKOLI, E. y EZENWEKE, L. 1990. Formulation and shelf-life of a bottled pawpaw juice beverage. *International Journal of Food Science and Technology* 25: 706-710.

OLAYIDE, S. 2004. Composition, physicochemical properties and retrogradation characteristics of native, oxidized, acetylated and acid-thinned new cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) starch. *Food Chemistry* 87: 205-218.

O'LEARY, K. y SHEEHY, P. 2001. Effects of preparation and cooking of folic acid-fortified foods on the availability of folic acid in a folate depletion / repletion rat model. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 49: 4508-4512.

ONWUEME, I. 1982. *The tropical tuber crops: Yams, Cassava, Sweet Potato and Cocoyams*. Chichester, New York, Brisbane, Toronto: John Wiley and Sons.

ORDOÑEZ, J. 1998. *Tecnología de los Alimentos*. Editorial Síntesis, España.

- ORTEGA, E. 2005. Raíces y tubérculos biofortificados: una innovación contra el hambre y la desnutrición en el mundo. Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela N°8.
- ORTEGA, F. y ELIASSON, A. 2001. Gelatinization and retrogradation behaviour of some starch mixtures. *Starch / Stärke* 53: 520-529.
- OSAGIE, A. 1982. Composition of lipids in *Dioscorea* tubers. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 30: 993-996.
- OSLER, M.; MILMAN, N. y HEITMANN. 1999. Consequences of removing iron fortification of flour on iron status among Danish adults. *Nutritional Reviews* 29: 32-36.
- OSORIO, P.; AGAMA, E.; CARMONA, R.; TOVAR, J.; PAREDES, O. y BELLO-PÉREZ, L. 2004. Resistant starch and in vitro starch digestibility of cooked "ayocote" bean (*Phaseolus coccineus*). *Interciencia* 29(9): 510-514.
- OSORIO, P.; BELLO-PÉREZ, L.; AGAMA, E.; VARGAS, A.; TOVAR, J. y PAREDES, L. 2002. In vitro digestibility and resistant starch content of some industrialized commercial beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry* 78: 333-337.
- OTEGBAYO, B.; AINA, J.; ASIEDU, R. y BOKANGA, M. 2006. Pasting characteristics of fresh yams (*Dioscorea spp.*) as indicators of textural quality in a major food product - "pounded yam". *Food Chemistry* 99: 663-669.
- OYENUGA, V. 1988. Nigeria's food and feedingstuffs. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 29: 1002.

- PACHECO, E.; MALDONADO, R.; PÉREZ, E. y SCHROEDER, M. 2008a. Production and characterization of unripe plantain (*Musa paradisiaca* L.) flours. *Interciencia* 33(4): 290-296.
- PACHECO, E. y TESTA, G. 2005. Evaluación nutricional, física y sensorial de panes de trigo y plátano verde. *Interciencia* 30(5).
- PACHECO, E.; TECHEIRA, N. y GARCÍA, A. 2008b. Elaboración y evaluación de polvos para bebidas instantáneas a base de harina extruida de ñame (*Dioscorea alata*). *Revista Chilena de Nutrición*.
- PAL, J., REKHA, S. y PUSHPA, R. 2002. Physicochemical properties of hydroxypropyl derivate from corn and amaranth starch. *Carbohydrate Polymers* 48: 49-53.
- PALACIOS, C. 2003. El calcio y las enfermedades crónicas: Un resumen de las evidencias. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 16(2).
- PANGBORN, R.; GIBBS, Z. y TASSAN, C. 1988. Effect of hydrocolloids on apparent viscosity and sensory properties of select beverages. *Journal of Texture Study* 9: 415-436.
- PANLASIGUI, L.; THOMPSON, L.; JULIANO, O.; PEREZ, C.; YIU, S. y GREENBERG, G. 1991. Rice varieties with similar amylose content differ in starch digestibility and glycemic response in humans. *American Journal of Clinical Nutrition* 54: 871-877.
- PAROVUORI, P.; HAMUNEN, A.; FORSELL, P.; AUTIO, K. y POUTANEN, K. 1995. Oxidation of potato starch by hydrogen peroxide. *Starch / Stärke* 47: 19-23.

- PASTOR, M.; COSTELL, E. y DURÁN, L. 1996. Effects of hydrocolloids and aspartame on sensory viscosity and sweetness of low calorie of peach nectar. *Journal of Texture Studies* 27: 61-79.
- PAZ, R. y HERNÁNDEZ, F. 2006. Manejo, prevención y control de la anemia megaloblástica secundaria a déficit de ácido fólico. *Nutrición Hospitalaria* 21(1).
- PEDRALLI, M. 1988. Inhame, esse desconhecido. *Ciência Hoje. Rio de Janeiro* 8(46): 58-62.
- PEDRERO, D. y PANGBORN, R. 1996. *Evaluación Sensorial de los Alimentos*. Editorial Alhambra Mejicana, Méjico.
- PERERA, C. y HOOVER, R. 1999. Influence of hydroxypropylation on retrogradation properties of native and treated potato starches. *Food Chemistry* 64: 361-375.
- PEREZ, E. 1994. Caracterización de las propiedades funcionales de los almidones nativos y modificados: I. Métodos físicos de extrusión, deshidratación con doble tambor e irradiación gamma y microondas. Trabajo de Ascenso. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela.
- PÉREZ, E. 1996. Algunas experiencias sobre la modificación de almidón, realizadas en Venezuela. En *Memorias de Conferencia Internacional: almidón. Propiedades Físico-químicas, Funcionales y Nutricionales*. Escuela Politécnica Nacional del Ecuador p. 129-148.
- PEREZ, E. 1996. Characterization of starch isolated from plantain (*Musa paradisiaca normalis*). *Starch / Stärke* 49: 45-49.

- PÉREZ, E. 2001. Caracterización de harina y almidones obtenidos a partir de ocumo chino (*Colocasia esculenta*), batata (*Ipomoea batatas*) y ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*). Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- PÉREZ, E.; BORNEO, R.; MELITO, C. y TOVAR, J. 1999. Chemical, physical and morphometric properties of peruvian carrot (*Arracacia xanthorrhiza B.*) starch. *Acta Científica Venezolana* 50: 240-244.
- PÉREZ, E.; LARES, M. y GONZALEZ, Z. 1997. Some characteristics of Sagu (*Canna edulis* Kerr) and Zulu (*Maranta* sp.) rhizomes. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 45: 2546-2549.
- PÉREZ, E. y PACHECO, E. 2005. Características químicas, físicas y reológicas de la harina y el almidón nativo aislado de *Ipomoea batatas*. *Acta Científica Venezolana* 56: 12-20.
- PÉREZ, E.; SCHULTZ, F. y PACHECO, E. 2005. Characterization of some properties of starches isolated from *Xanthosoma sagittifolium* (tannia) and *Colocasia esculenta* (taro). *Carbohydrate Polymers* 60: 139-145.
- PESHIN, A. 2001. Characterization of starch isolated from potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Food Science and Technology* 38(5): 447-449.
- PETERSON, C.; JOHNSON, V. y MATTERN, P. 1986. Influence of cultivar and environment on mineral and protein concentrations of wheat, flour, bran and grain. *Cereal Chemistry* 63: 183-186.
- PITCHON, E.; O'ROURKE, J. y JOSEPH, T. 1981. Process for cooking or gelatinizing materials. U.S. Patent. 4: 280,851.

- POLETTI, S.; GRUISSEM, W. y SAUTTER, C. 2004. The nutritional fortification of cereals. *Biotechnology* 15(2): 162 – 165.
- PONCE, G.; FAJARDO, M.; ZENI, S. y PORTELA, M. 2006. Ingesta de calcio y proteínas: relación con marcadores bioquímicos óseos en mujeres pre y postmenopáusicas de Comodoro Rivadavia (Argentina). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 56(3): 237-241.
- QUINLIVAN, E.; McPARTLIN, J.; McNULTY, H.; WARD, M.; STRAIN, J.; WEIR, D. y SCOTT, J. 2002. Importance of both folic acid and vitamin B12 in reduction of risk of vascular disease. *The Lancet* 359: 22-228.
- RACHED, L.; ARAUJO de VIZCARRONDO, C.; RINCÓN, A. y PADILLA, F. 2006. Evaluación de harinas y almidones de mapuey (*Dioscorea trifida*), variedades blanco y morado. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 56(4).
- RAJA, M. y PRASANNA, K. 2000. Properties of steam treated arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch. *Starch / Stärke* 52: 471-476.
- RAO, M.; OKECHUKWU, P.; DA SILVA, P. y OLIVEIRA, J. 1997. Rheological behavior of heated starch dispersions in excess water: Role of starch granule. *Carbohydrate Polymers* 33: 273-283.
- RASPER, V. 1980. Theoretical aspects of amylographology in "The amylograph handbook" Shuey W. C. y Tipples K. H. Eds. The American Association of Cereal Chemists. St Paul, Minnesota, USA.
- RATANATRIWONG, P.; AKDEMIR, G. y ZHANG, Q. 2007. Pulsed electric field processing of formulated rice pudding. *Journal of Food Safety* 28: 126-141.
- RATNAYAKE, W.; HOOVER, R. y WARKENTIN, T. 2002. Pea starch: Composition, structure and properties-a review. *Starch/Stärke* 54: 217-234.

- RAVINDRAN, G. y WANASUNDERA, J. 1992. Chemical changes in yam tubers (*Dioscorea alata* and *D. esculenta*) during storage. *Tropical Science* 35: 57-62.
- REBOLLEDO, M.; SANGRONIS, E. y BARBOSA, G. 1999. Evaluación de galletas dulces enriquecidas con germen de maíz y fibra de soya. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 49(3): 253-258.
- REDDY, I. y SEIB, P. 2000. Modified waxy wheat starch compared to modified waxy corn starch. *Cereal Chemistry* 76: 341-349.
- RINCON, A.; ARAUJO, C.; CARRILLO, F. y MARTÍN, E. 2000. Evaluación del posible uso tecnológico de algunos tubérculos de las dioscoreas: ñame congo (*Dioscorea bulbifera*) y mapuey (*Dioscorea trifida*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 50(3): 286-290.
- RINCÓN, A.; RACHED, L.; ARAGOZA, L. y PADILLA, F. 2007. Efecto de la acetilación y oxidación sobre algunas propiedades del almidón de semillas de Fruto del pan (*Artocarpus altilis*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 57(3): 45-48.
- RING, S. 1985. Some studies on starch gelation. *Starch / Stärke* 37: 80-83.
- RIVAS, M.; MENDEZ, G.; SANCHEZ, M.; NUÑEZ, M. y BELLO, L. 2008. Caracterización morfológica, molecular y físico-química del almidón de plátano oxidado y linternizado. *Agrociencia* 42: 487-497.
- ROBERFROID, M. 1999. What is beneficial for health? The concept of functional food. *Food and Chemical Toxicology* 37: 1039 – 1041.

- ROBYT, J.; CHOE, J.; HALM, R. y FUCHS, E. 1996. Acid modification of starch granules in alcohols: Effect of temperature and starch concentration. *Carbohydrate Research* 281: 203-218.
- RODRÍGUEZ, S. 1995. Procesamiento de cará-de rama (*Dioscorea bulbifera*) frito. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*: 128-133.
- ROGER, P. y COLONNA, P. 1992. The influence of Chain length on the hydrodynamic behaviour of amylose. *Carbohydrate Research* 227: 73-83.
- ROGOLS, S. 1986. Starch modifications: a view into the future. *Cereal Food World* 31: 869-874.
- ROMANCHIK, J.; Mc KEIME, R. 2007. Fortification of all-purpose wheat-flour tortillas with calcium lactate, calcium carbonate, or calcium citrate is acceptable.
- ROMERO, C.; BELLO, L.; GARCÍA, M.; MARTINO, M.; SOLORZA, J. y ZARITZKY, N. 2005. Physicochemical and microstructural characterization of films prepared by thermal and cold gelatinization from non-conventional sources of starches. *Carbohydrate Polymers* 60: 235-244.
- ROUSSEL, L.; VIELLE, A.; BILLET, I. y CHEFTEL, C. 1991. Sequential heat gelatinization and enzymatic hydrolysis of corn starch in an extruder reactor optimization for a maximum dextrose equivalent. *Food technology* 24: 449-458.
- RUALES, J. y NAIR, B. 1994. Effect of processing on in vitro digestibility of protein and starch in quinoa seeds. *International Journal of Food Science and Technology* 29: 449-456.

- RUTENBERG, M. y SOLAREK, D. 1994. Starch derivatives: production and uses. *Food Hydrocolloids* 344-349.
- SALAZAR y MARCANO. 2005. Evaluación de la harina de ñame (*Dioscorea alata*) como potencial ingrediente en la elaboración de productos de panadería. V Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos.
- SALINAS, Y.; HERRERA, J.; CASTILLO, J. y PÉREZ, P. 2003. Cambios físico-químicos del almidón durante la nixtamalización del maíz en variedades con diferente dureza del grano. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 53(2).
- SANCHEZ, M.; GARCIA, F.; VELAZQUEZ, M.; GUTIERREZ, F. y BELLO, L. 2005. Partial characterization of banana starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. *Carbohydrate Polymers*. 62: 50-56.
- SANDHU, K. y SINGH, N. 2004. Characteristics of the different corn types 456 and their grain fractions: physicochemical, thermal, morphological and rheological properties of starches. *Journal of Food Engineering* 64: 119-127.
- SANDHU, K.; KAUR, M.; SINGH, N. y LIM, S. 2008. A comparison of native and oxidized normal and waxy corn starches: Physicochemical, thermal, morphological and pasting properties. *LWT* 41: 1000-1010.
- SANDOVAL, A.; FARHAT, I. y FERNANDEZ, A. 2007. Comportamiento reológico de harinas y almidones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) durante un proceso de extrusión. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica* 14(1): 6-15.
- SANGSEETHONG, K.; LERTPANIT, S. y SRIROTH, K. 2005. Hypochlorite oxidation of cassava starch. *Starch/Starke* 58(2): 53-54.

- SANTOS, E. 1996. Inhame (*Dioscorea spp.*): Aspectos básicos da cultura. EMEPA, João Pessoa, PB, 154 p.
- SATIN, M. 1998. Functional properties of starches. New York. Online: [www.fao.org/ag/ags/agsi/starch41.htm](http://www.fao.org/ag/ags/agsi/starch41.htm).
- SCHMITZ, C.; DE SIMAS, K.; SANTOS, K.; JOAO, J.; DE MELLO, R. y AMANTE, E. 2006. Cassava starch functional properties by etherification-hydroxypropylation. International Journal of Food Science 41: 681-687.
- SCHOCH, T. 1964. Swelling power and solubility of granular starches. In: Methods in carbohydrates chemistry. Vol. IV. Editorial Whistler RL, Academy Press, New York, USA.
- SEABORN, C. 2001. Curso de micronutrientes. UW – Stout.
- SELHUB, J.; JACQUES, P.; WILSON, P.; RUSH, D. y ROSENBERG, I. 1993. Vitamin status and intake as primary determinants of homocysteinemia in an elderly population. JAMA 270: 2693.
- SEOW, C. y THEVAMALAR, K. 1993. Internal plasticization of granular rice starch by hydroxypropylation. Effects on phase transitions associated with gelatinization. Starch 45: 85-88.
- SERÓN, L. y GUZMÁN, E. 1993. Jugo de melocotón con hierro: aspectos químicos y nutricionales. Química Nova 16: 7-23.
- SEYMOUR, R. y CARRAHER, CH. 1996. Introducción a la química de polímeros. Editorial Reverté. 736 p.

- SHI, X. y BEMILLER, J. 2000. Effect of sulfate and citrate salts on derivatization of amylose and amylopectin during hydroxypropylation of corn starch. *Carbohydrate Polymers* 43: 333-336.
- SHIFTAN, D.; RAVANELLE, F.; ALEXANDRE, M. y MARCHESSAULT, R. 2000. Change in V / B polymorphratio and T1 relaxation of epichlorhydrin cross-linked high amylose starch excipient. *Starch / Stärke* 52: 186-195.
- SHUJUN, W.; JINGLIN, Y.; WENYUAN, G.; HONGYAN, L. y PEIGEN, X. 2006. New starches from traditional Chinese medicine (TCM) – Chinese yam (*Dioscorea opposite* Thunb.) cultivars. *Carbohydrate Research* 341(2): 289-293.
- SHUJUN, W.; JINGLIN, Y.; JIUGAO, Y.; JIPING, P. y HONGYAN, L. 2008. Structure characterization of C-type starch granule by acid hydrolysis. *Food Hydrolysis. Food Hydrocolloids* 22: 1283-1290.
- SIFONTES, Y.; FALQUE, L.; PEÑA, E. y HERNANDEZ, R. 1999. Proyecto Valores de Referencia de Energía y Nutrientes. Grupo vulnerable: Adulto Mayor. Venezuela.
- SILVA, A. 2001. A cultura do cará da Costa. Fortaleza. Banco do noreste do Brasil. 65 p.
- SINGH, J.; KAUR, L. y McCARTHY, O. 2007. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications. A review. *Food Hydrocolloids* 21: 1-22.
- SINGH, M.; SANDERSON, P.; HURRELL, R.; FAIRWEATHER, S.; GEISLER, C.; PRENTICE, A. y BERAD, J. 2006. Iron bioavailability: UK Food Standars Agence workshop report. *British Journal of Nutrition* 96: 985-990.

- SINGH, K. y SINGH, N. 2007. Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food Chemistry* 101(4): 1499-1507.
- SITOHY, M.; SAID, E.; LABIB, S. y RAMADAN, M. 2000. Physicochemical properties of different types of starch phosphate monoesters. *Starch/Stärke* 52(4): 101-105.
- SÍVOLI, L.; PÉREZ, E.; RODRÍGUEZ, P.; DE ABRISQUETA, A. y RAYMÚNDEZ, M. 2005. Cambios en la estructura granular durante el proceso de modificación química (fosfatado – acetilado) del almidón de yuca. *Acta Microscópica* 14(1): 6-9.
- SLATTERY, C.; KAVAKII, H. y OKIRO, T. 2000. Engineering starch for increases quantity and quality. *Trends in Plant Science* 5: 291-298.
- SNOW, P. y O'DEA, K. 1981. Factors affecting the rate of hydrolysis of starch in food. *American Journal of Clinical Nutrition* 34: 2721-2727.
- SOUSA, E.; DOS SANTOS, D. y SALES, D. 2007. Development of a new tapioca product with tropical fruit pulp and soy extract. *Tropical Science* 47(1): 52-56.
- SPENCE, J. 2006. Challenges related to the composition of functional foods. *Journal of Food Composition and Analysis* 19(1): 54 - 56.
- SRICHUWONG, S.; SUNARTI, T.; MISHIMA, T.; ISONO, N. y HISAMATSU, M. 2005. Starches from different botanical sources II. Contribution of starch structure to swelling and pasting properties. *Carbohydrate Polymers* 62: 25-34.

- STUTE, R. 1992. Hydrothermal modification of starch: the difference between annealing and heat moisture treatments. *Starch/Stärke* 44: 205-214.
- SWANSON, C. 2003. Iron intake and regulation: implications for iron deficiency and iron overload. *Alcohol* 30: 99-102.
- SWINKLES, J. 1985. Composition and properties of commercial native starches. *Starch/Stärke* 37:1-5.
- SWINKLES, M. 1987. Industrial starch chemistry: Properties, modifications and applications of starches. AVEBE. The Netherlands.
- TAGGART, P. 2004. Starch as an ingredient: manufacture and applications. En: *Starch in food. Structure, function and applications*. Cambridge, Reino Unido.
- TAGODOE, A. y NIP, W. 1994. Functional properties of raw and precooked taro (*Colocasia esculenta*) flours. *International Journal of Food Science and Technology* 29: 457-462.
- TAKEDA, Y. y PRIESS, J. 1993. Structures of B90 (sugary) and W64A (normal) maize starches. *Carbohydrate Research* 240: 265-275.
- TAKEDA, Y.; TOKUNAGA, N.; TAKEDA, C. y HIZUKURI, S. 1986. Physicochemical properties of sweet potato starches. *Starch / Stärke* 38: 345-350.
- TEIXEIRA, P.; SANGRONIS, E.; OTERO, M.; GUERRA, M. e HIDALGO, G. 2006. Manaca, batata y ñame: posibles sustitutos del trigo en alimentos para dos etnias del Amazonas venezolano. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 56(1): 77-82.

- TESTER, R. y KARKALAS, J. 1996. Swelling and gelatinization of oat starches. *Cereal Chemistry* 73: 271-273.
- TESTER, R. y MORRISON, W. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches I. Effect of amylopectin, amylose and lipids. *Cereal Chemistry* 73: 199-207.
- TETCHI, F.; ROLLAND, A.; AMANI, G. y COLONNA, P. 2007. Molecular and physicochemical characterization of starches from yam, cocoyam, cassava, sweet potato and ginger produced in the Ivory Coast. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87: 1906-1916.
- THEURER, C. 1992. Starch digestion: understanding and potential for improvement. *The Journal of Nutrition*: 170-174.
- THOMAS, D., ATWELL, W. 1999. Starch structure in: *Starches: Practical guide for the food industry*. Eagan Press Handbook Serie St. Paul Mn. USA 1-12.
- THOMPSON, L.; RENIERS, D.; BAKER, L. y SIU, M. 1983. Succinylated whey protein concentrates in ice cream and instant puddings. *Journal of Dairy Science* 66: 1630-1637.
- THORNE, M.; THOMPSON, L. y JENKINS, D. 1983. Factors affecting starch digestibility and the glycemic response with special reference to legumes. *The American Journal of Clinical Nutrition* 38: 481- 488.
- TOVAR, J.; BJÖRCK, I. y ASP, N. 1991. Incomplete digestion of legume starch in rats: A study of precooked flours containing retrograded and physically inaccessible starch fractions. *The Journal of Nutrition*: 1500-1507.

- TZIBOULA, A. y MUIR, D. 1993. Effect of starches on the heat stability of milk. *International Journal of Food Science and Technology* 28: 13-24.
- UAUY, R. 1996. Requerimientos nutricionales del adulto mayor. Guías de alimentación para el adulto mayor. Chile.
- UNDIE, A. y AKUBUE, P. 1986. Pharmacological evaluation of *Dioscorea dumetorum* tuber used in traditional antidiabetic therapy. *Journal of Ethnopharmacology* 15: 133-144.
- UNDURTI, N. 2003. Folic acid says NO to vascular diseases. *Nutrition* 19: 686-692.
- URALA, N. y LÁHTEENMÁKI, L. 2004. Attitudes behind consumer's willingness to use functional foods. *Food Quality and Preference* 15: 793 – 803.
- UROOJ, A. y PUTTRAJ, S. 1999. Digestibility index and factors affecting rate of starch digestion in vitro in conventional food preparation. *Starch* 51(11): 430-435.
- VALENZUELA, A. y RONCO, A. 2004. Fitoesteroles y fitoestanoles: aliados naturales para la protección cardiovascular. *Revista Chilena de Nutrición* 31(1): 161-169.
- VARGAS, A.; OSORIO, P.; AGAMA, E.; MORALES, L. y BELLO-PÉREZ, L. 2006. Digestibilidad del almidón en diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Interciencia* 31(12): 881-884.
- VASANTHAN, T., YEUNG, J. y HOOVER, R. 2001. Dextrinization of starch in barley flours with thermostable alpha-amylase by extrusion cooking. *Starch / Stärke* 53: 616-622.

- VASQUEZ, W. y GLORIO, P. 2007. Obtención de calcio y magnesio a partir de choro (*Aulacomia ater* Molina) para enriquecer un néctar de durazno (*Prunus persica* L.) variedad blanquillo. Revista de la Sociedad Química de Perú 73(4).
- VÉLEZ, F. y VÉLEZ, G. 1990. Plantas alimenticias de Venezuela. Fundación Bigott. Sociedad de Ciencias Naturales La Salle. Monografía N° 37. p 162.
- VERA, M.; WITTIG, E.; BUNGER, A.; SOTO, D.; CARIAGA, L.; FUENZALIDA, R.; CONEJO, E. y LÓPEZ, L. 1995. Desarrollo de productos para el adulto mayor: Pudín enriquecido con vitaminas. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 45(1): 63-66.
- VERBEKEN, D.; THAS, O. y DEWETTINCK, K. 2004. Textural properties of gelled dairy desserts containing k-carrageenan and starch. Food Hydrocolloids 18(5): 817-823.
- VIAN, A. 1994. Introducción a la química industrial 2º Edición. Editorial Reverté. Barcelona, España.
- VILORIA, H. y ALCORCÉS, N. 2007. Especies de Dioscorea comestibles presentes en el municipio Punceres del estado Monagas, Venezuela. Revista de la Facultad de Agronomía LUZ 24 Suplemento 1: 244-248.
- VITERI, F. 1997. Iron supplementation for the control of iron deficiency in populations at risk. Nutritional Reviews 55: 195-209.
- VRABLIK, M.; STULC, T.; KASALOVA, Z.; MARINOV, I.; MALIK, J.; SIMEK, J.; SVOBODOVA, H.; ZIDKOVA, K. y CESKA, R. 2007. Folic acid does not improve surrogate markers of early atherosclerosis in atorvastatin-treated patients. Nutrition Research 27: 181-185.

- WALD, N., LAW, M.; MORRIS, J. y WALD, D. 2001. Quantifying the effect of folic acid. *The Lancet* 358: 2069-2074.
- WALTER, T.; OLIVARES, M.; PIZARRO, M. y MUÑOZ, C. 1999. Hierro, anemia e infección. En: Deficiencia de hierro. Desnutrición oculta en América Latina. Centro de Estudios sobre Nutrición.
- WANG, Y. y WANG, L. 2001. Structures and physicochemical properties of acid-thinned corn, potato and rice starches. *Starch / Stärke* 53: 570-576.
- WANG, Y. y WANG, L. 2003. Physicochemical properties of common and waxy corn starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. *Carbohydrate Polymers* 52: 207-217.
- WANG, S.; JINGLIN, Y. y WENYUAN, G. 2007. Morphological and granular changes in native yam (*Dioscorea bulbifera*) starch during acid hydrolysis. *Carbohydrate Polymers* 69: 286-292.
- WANG, Y.; TRUONG, V. y WANG, L. 2003. Structures and rheological properties of corn starch as affected by acid hydrolysis. *Carbohydrate Polymers* 52: 327-333.
- WANG, J.; WHITE, P.; POLLAK, I. y JANE, J. 1993. Amylopectin and intermediate materials in starch from mutant genotypes of the Oh43 Inbred Line. *Cereal Chemistry* 70(5): 521-525.
- WANISKA, R. y GÓMEZ, M. 1992. Dispersion behavior of starch. *Food Technology* 123: 110-118.

- WATTANCHANT, S.; MUHAMMAD, K.; HASHIM, D. y RAHMAN, R. 2003. Effect of cross-linking reagents and hydroxypropylation levels on dual modified sago starch properties. *Food Chemistry* 80: 463-471.
- WEAVER, C. y LIEBMAN, M. 2002. Biomarkers of bone health appropriate for evaluating functional foods designed to reduce risk of osteoporosis. *British Journal of Nutrition* 88(2): 225-232.
- WELTEN, D.; KEMPER, H. y STAVEREN, W. 1995. A meta-analysis of the effect of calcium intake on bone mass in young and middle aged females and males. *Journal of Nutrition* 125: 2802-2813.
- WHISTLER, R. y BEMILLER, J. 1997. *Starch. Carbohydrate chemistry for food scientists*. St. Paul, MN, USA: Eagan Press.
- WISCHMANN, B.; AHMT, T.; BANDSHOLM, O.; BLENNOW, A.; YOUNG, N.; JEPPESEN, L. y THOMSEN. 2007. Testing properties of potato starch from different scales of isolations. *Journal of Food Engineering* 79: 970-978.
- WITTIG DE PENNA, E.; SERRANO, L.; BUNGER, A.; SOTO, D.; LÓPEZ, L.; HERNÁNDEZ, N. y RUALES, J. 2002. Optimización de una formulación de espaguetis enriquecidos con fibra dietética y micronutrientes para el adulto mayor. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 52(1): 91-99.
- WOLLGAST, J. y ANKLAM, E. 2000. Review on polyphenols in *Theobroma cacao*: changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identification and quantification. *Food research International* 33: 423-447.

- WONG, S. y O´DEA, K. 1983. Importance of physical form rather than viscosity in determining the rate of starch hydrolysis in legumes. *American Journal of Clinical Nutrition* 33: 66-70.
- WOO, K. y SEIB, P. 1997. Cross-linking of wheat starch and hydroxypropylated wheat starch in alkaline slurry with sodium trimetaphosphate. *Carbohydrate Polymers* 33: 263-271.
- WOOTON, M. y HO, P. 1989. Alkali gelatinization of wheat starch. *Starch / Stärke* 40: 44-50.
- WOOTON, M. y MANATSATHIT, A. 1983. The influence of molar substitution on the water binding capacity of hydroxypropyl maize starches. *Starch / Stärke* 35: 92-94.
- WU, Y. y SEIB, P. 1990. Acetylated and hydroxypropylated distarch phosphates from waxy barley: Paste properties and freeze-thaw stability. *Cereal Chemistry* 67: 202-208.
- WURZBURG, B. 1986. Forty years of industrial starch research. *Cereal Food World* 31(12): 897-903.
- YEH, A. y YEH, S. 1993. Property differences between cross-linked and hydroxypropylated rice starches. *Cereal Chemistry* 70: 596.
- YOOK, C.; PEK, U. y PARK, K. 1993. Gelatinization and retrogradation characteristics of hydroxypropylated cross-linked rices. *Journal of Food Science* 58: 405-407.

- YU, B.; FUJI, S. y KISHIHARA. 1999. Physicochemical property of Huaishan (*Rhizoma Dioscorea*) and Matai (*Eleocharis dulcis*) starches. *Starch/Stärke* 51: 5-10.
- YUAN, R. y THOMPSON, D. 1998. Determination of water separation from cooked starch and flour pastes after refrigeration and freeze-thaw. *Journal of Food Science* 63(1): 134-139.
- YÚFERA, E. 2003. *Química orgánica básica y aplicada: De la molécula a la industria*. Universidad Politécnica de Valencia. Editorial Reverté. 484 p.
- ZAIDUL, I.; NORULAINI, N.; MOHD, A.; YAMACUCHI, H. y NODA, T. 2007. RVA analysis of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, yam, and cassava starches. *Carbohydrate Polymers* 69: 784-791.
- ZHANG, P.; WHISTLER, R.; BeMILLER, J. y HAMAKER, B. 2005. Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility-a review. *Carbohydrate Polymers* 59: 443-458.
- ZHOU, X. y KAPLAN, M. 1996. Soluble amylose corn starch is more digestible than soluble amylopectin potato starch in rats. *The Journal of Nutrition*: 1349-1356.
- ZOBEL, H. 1988. Starch crystal transformation and their industrial importance. *Starch / Stärke* 40(1): 1-7.