

## HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE DESECHOS DEL UMARÍ (*Poraqueiba sericea* Tulasne) Y DE LA YUCA (*Manihot esculenta* Crantz)

**Roger Ruiz Paredes**

MSc. en Ingeniería de Alimentos por la UNICAMP (Brasil). Ingeniero. Docente de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos, Perú.  
[ingalim@terra.com.pe](mailto:ingalim@terra.com.pe)

**Jessy Patricia Vásquez Chumbe**

Bióloga. Docente de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos, Perú.

---

### RESUMEN

Se estudió la hidrólisis de la torta de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y umarí (*Poraqueiba sericea* Tulasne) con las enzimas comerciales alfa-amilasa Fungamyl 5000 BG, de *Aspergillus oryzae*, amiloglucosidasa AMG 300 L de *Aspergillus niger*, y celulasa Celluclast 1.5L de *Trichoderma reesei*.

En la hidrólisis del almidón de la torta se obtuvo productos de mayor valor Equivalente de Dextrosa (ED) y más estables en concentración de torta al 6% (p/p), tratamiento térmico a 75°C por 5 minutos, hidrólisis con alfa amilasa en una concentración de 0.1% p/p de la torta.

La combinación de alfa-amilasa con amiloglucosidasa demostró un aumento del valor de ED, teniendo para la yuca un valor de 38.7 y para el umarí 37.7, a una concentración para ambas enzimas de 0.1% p/p de la torta por 60 minutos. La combinación de alfa-amilasa, amiloglucosidasa y celulasas, mostró un incremento del valor de ED, teniendo para la yuca 48.95 y para el umarí 48.76, a una concentración de enzimas de 0.1% para alfa-amilasa y amiloglucosidasa y 1% para la celulasa.

**Palabras Claves:** Umarí, Poraqueiba sericea, Yuca, Manihot esculenta, Hidrólisis Enzimática, Alfa-amilasa, Amiloglucosidasa, Celulasa

---

### 1. INTRODUCCIÓN

La hidrólisis enzimática es importante en la industria alimentaria por los efectos fisicoquímicos u organolépticos que produce, tales como la disminución de la viscosidad, mejora de la filtrabilidad, disminución de la tendencia a la cristalización, clarificación y estabilización de los líquidos con vistas a su conservación, insolubilización de macromoléculas por formación de coágulos, mejora en la fermentabilidad, mejora de la estabilidad bacteriológica, corrección de las

deficiencias enzimáticas de origen natural, mejora de la textura y las características organolépticas, aumento del poder edulcorante y otros (Wiseman, 1991).

Según Montaldo (1972), la yuca fresca tiene alrededor de 61% de humedad, 1.2% de proteínas, 0.4% de grasas, 34.9% de carbohidratos, 1.2% de fibras y 1.3% de cenizas; mientras que al secarse las proteínas suben a 3.1%, grasa a 1.1%, carbohidratos a 89.4%, fibra a 3.1% y cenizas a 3.3%. Por su parte, el almidón de yuca tiene 14.5% de humedad, 0.85% de sustancias nitrogenadas,

0.35% de grasa, 84.0% de almidón, 0.20% de cenizas y trazos de celulosa.

El umarí (*Poraqueiba sericea* Tulasne) descrita por Tulasne en 1849, es una especie propia de la selva baja que crece preferentemente en suelos próximos al río Amazonas y algunos de sus tributarios con suelos aluviales, fértiles y de textura arenosa (Gutiérrez, 1969). Generalmente se consume en forma directa como fruta, desechándose la semilla que constituye aproximadamente el 74% del fruto. Esta semilla posee un significativo porcentaje de almidón que puede ser extraído y utilizado. Este almidón seco posee 0.47% de proteína, 0.014% de grasa, 0.54% de ceniza, 0.03 de fibra y 98.95% de carbohidratos. La torta residual de la extracción del almidón es una mezcla de celulosa, proteínas, hemicelulosa y almidón remanente que no debe ser mayor al 5% (Aguirre, 1987).

La alfa-amilasa (Alfa 1,4-D- Glucan Glucano-hidrolasa) hidroliza los enlaces glucosídicos alfa-1,4 de los polisacáridos que poseen 3 o más unidades de D-glucosa en unión alfa-1,4. El ataque se hace en forma no selectiva (tipo endoenzima) sobre varios puntos de la cadena simultáneamente, aunque los primeros productos de la hidrólisis son siempre oligosacáridos de 5-7 unidades de glucosa, o un número múltiplo (Braverman, 1980).

La amiloglicosidasa (Alfa-1,4- D-Glucan glucohidrolasa) es una exohidrolasa también conocida como glucoamilasa, que hidroliza los enlaces glucosídicos alfa-1,4 y alfa-1,6 de la amilosa y la amilopectina separando unidades de glucosa a partir del extremo no reductor de la cadena (Braverman, 1980). Puesto que la glucoamilasa es la única entre

todas las amilasas que libera glucosa a partir del almidón en un tiempo relativamente corto, se lo puede valorar determinando la glucosa formada tras un corto tiempo de reacción, para ello se emplean glucosa oxidasa y peroxidasa o mejor hexoquinasa y glucosa-6-p-deshidrogenasa (Benavides *et al.*, 1985).

La celulasa forma parte de las paredes celulares de las plantas e hidroliza los enlaces beta-1,4 glucano de las cadenas de celulosa y de sus productos de degradación formando, glucosa, celobiosa y polímeros de la glucosa más grandes, además de ocasionar disminución en la viscosidad (Novo Nordisk, 1999). El pH óptimo de los sistemas celulolíticos suele estar entre 4-6. Son termoestables y la temperatura óptima para algunos de ellos se encuentra alrededor de 60°C. Se trata por lo tanto de dos parámetros favorables para la aplicación técnica siempre que se consiga aumentar la actividad celulolítica y hacer a la celulosa atacable por los sistemas enzimáticos mediante un tratamiento previo sencillo (Benavides *et al.*, 1985).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Materia prima e insumos

Materia prima: se utilizaron los residuos (torta) que resultan de la extracción del almidón de la yuca y de la semilla del umarí

Enzimas: i) Fungamyl 5000 BG de Novo Nordisk, producido a partir de una cepa de *Aspergillus oryzae*, con actividad<sup>1</sup> declarada de 5000 FAU/g ; ii) Celluclast 1.5 L de Novo Nordisk con actividad<sup>2</sup> declarada de 700 EGU/g ; iii) AMG 300 L de Novo Nordisk, amiloglicosidasa obtenida de *Aspergillus*

<sup>1</sup> Una unidad de Alfa-Amilasa Fúngica (1 FAU) corresponde a la cantidad de enzima que descompone 5.26 g de almidón soluble por hora, bajo condiciones estándar: Tiempo de reacción: (7-20 min), Temperatura (37°C), pH: 4.7. En la ficha técnica se observa que las mejores condiciones de trabajo son 45-50°C y pH 4.0-5.0. NOVO NORDISK (1999).

<sup>2</sup> Una unidad Endo-Glucanasa (1 EGU) es la cantidad de enzima que bajo condiciones estándar, degrada el CMC. Para las aplicaciones prácticas las mejores condiciones de trabajo son: Temperatura (50-60°C), pH (4.5-6.0), densidad (1.2g/mL), sustrato (CMC), tiempo de reacción (20 min).

*niger* con actividad<sup>3</sup> declarada de 300 AGU/mL.

## 2.2 Equipos

Agitador magnético, balanza analítica Sartorius, baño termostático, potenciómetro, viscosímetro, estufa, mufla, extractor Soxhlet, refractómetro, equipo Kjeldahl, refrigeradora-congeladora marca Friolux.

## 2.3 Materiales y reactivos

Micropipeta de 100 –1000 µL, micropipeta de 5-50 µL, bureta graduada, erlenmeyers de 50, 100, 250 y 500 mL, papel filtro, pipetas volumétricas de 5, 10, 25 mL, soportes, balones volumétricos, vasos de precipitado, cápsulas de porcelana, campana de desecación, mortero y pilón, tips para micropipeta otros.

Solución de yodo diluida (1:5), solución de CMC al 1%, NaOH al 1% y 40%, HCl al 1%, solución de Fehling A, reactivo de Fehling B, indicador de azul de metileno al 1%, ácido sulfúrico 0.25N, NaOH 0.25N, éter de petróleo, indicador rojo de metilo, soluciones buffer de 4 y 7, papel indicador universal, almidón soluble, maltosa, tampón acetato 0.1M, buffer tris-maleato, CaCl<sub>2</sub>, NaCl, fosfato disódico, fosfato monosódico.

## 2.4 Métodos de análisis

- Determinación de humedad (Método según la A.O.A.C - Modificado).
- Determinación de ceniza (Método según la A.O.A.C - Modificado).
- Determinación de grasa (Método según la A.O.A.C - Modificado).
- Determinación de proteínas totales (Método Kjeldahl según la A.O.A.C - Modificado).

- Determinación de carbohidratos (Método de Diferencia).
- Determinación de acidez titulable

## 2.5 Procedimiento experimental

### 2.5.1 Hidrólisis de la torta del umarí y la yuca con alfa-amilasa.

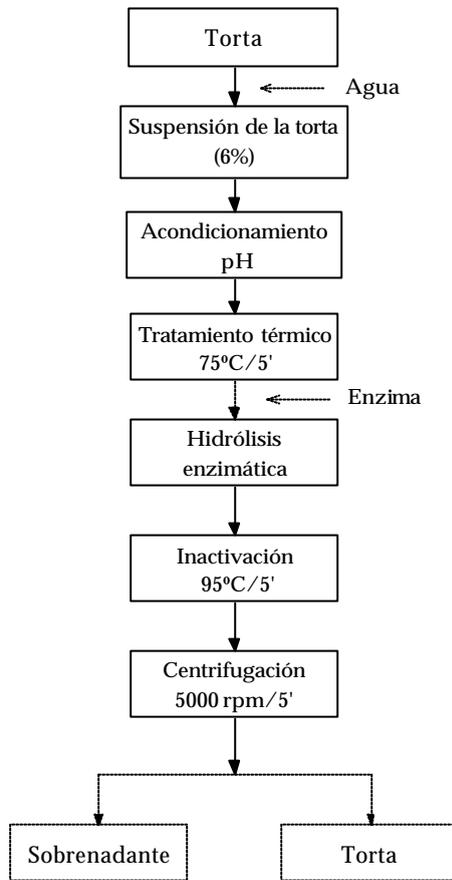
Se estudió la cinética de la hidrólisis con Fungamyl 5000 BG de suspensiones de la torta al 6%, previamente sometida a tratamiento térmico, pH de 4.7 y 50°C. La hidrólisis se evaluó a 0, 30, 60, 90 y 120 minutos, utilizando tres concentraciones para la enzima: 0.01, 0.05, 0.1% (p/p almidón). Después de cada hidrólisis la enzima se inactivó a 95°C por 5 minutos. Los resultados se midieron como tiempo y concentración óptima.

### 2.5.2 Efecto de la combinación de la alfa-amilasa y la amiloglicosidasa en la hidrólisis de la suspensión de la torta de yuca y de umarí.

Con el fin de incrementar el porcentaje de recuperación de sólidos, se estudió la influencia de una enzima que además de actuar sobre los enlaces alfa 1,4, tenga actividad sobre las ramificaciones alfa 1,6. Con tal finalidad se estudió los mejores tratamientos obtenidos en la hidrólisis con la alfa-amilasa Fungamyl 5000 BG, combinados con la amiloglicosidasa AMG 300 L, en dos diferentes concentraciones: 0.05 y 0.1% (p/p de la torta), pH de 4.5 y 55°C. La hidrólisis se realizó en 100g de suspensión de torta de yuca y umarí, con 0.10% de alfa amilasa, combinada con 0.05 y 0.10% de amiloglicosidasa. La hidrólisis se realizó por 60 minutos.

---

<sup>3</sup> Una unidad de Amiloglicosidasa (1 AGU) se define como la cantidad que hidroliza 1 micromol de maltosa por minuto bajo condiciones estándar: Temperatura (60°C), pH (4.5, tampón acetato 0.1M), tiempo de reacción (30 min).



**Figura 1:** Diagrama de flujo para la hidrólisis enzimática de la torta del umari y de la yuca.

### 2.5.3 Efecto de la combinación de la alfa-amilasa, la amiloglucosidasa y la celulasa en la hidrólisis de la suspensión de la torta de yuca y de umari

Con este tratamiento se buscó intensificar la hidrólisis de la torta, mediante la adición de la celulasa, además de la alfa-amilasa y la amiloglucosidasa, con la finalidad de degradar las paredes celulares que se encuentran compuestas de celulosa y de esta manera incrementar la concentración de glucosa en el hidrolizado. Los ensayos se realizaron en 100g de suspensión al 6% de torta. Se eligió el mejor tratamiento de la combinación alfa-

amilasa y amiloglucosidasa que corresponde a la concentración 0.1% para ambas enzimas, mientras que las concentraciones de la celulasa fueron 0.5 y 1% p/p.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Composición de las tortas de yuca y de umari

La Tabla 1 presenta la composición proximal, en porcentaje másico, y las características fisicoquímicas de las tortas de yuca y de umari, utilizados como materia prima en la presente investigación.

**Tabla 1:** Composición porcentual y características fisicoquímicas

Componente	Torta de yuca	Torta de umari
Humedad	13.55	12.66
Proteína	1.05	9.45
Grasa	0.70	14.17
Fibra	2.05	12.71
Ceniza	0.50	0.92
Carbohidratos	84.20	62.80
Materia seca	86.45	87.34
Calorías (Kcal)	347.30	416.53
Acidez	0.12	0.06
pH a 20°C	4.82	5.21
Almidón	18.9	12.8

### 3.2 Hidrólisis por acción de las diversas enzimas

Como se observa en la Tabla 2, los valores de Equivalente de Dextrosa (ED) fueron superiores en la concentración 0.10% y 60 minutos: 24.00 para la yuca y 23.52 para el umari. El aumento en el tiempo después de los 60 minutos es insignificante, por lo que sería un desperdicio de recursos aumentar más allá de 60 minutos el tiempo de hidrólisis. Las Figuras 2 y 3, por su vez, muestran tres etapas en la cinética del ED: en la primera la velocidad de producción de azúcares reductores es proporcional respecto al tiempo, también se puede decir que hay elevada concentración del sustrato, el cual estaría

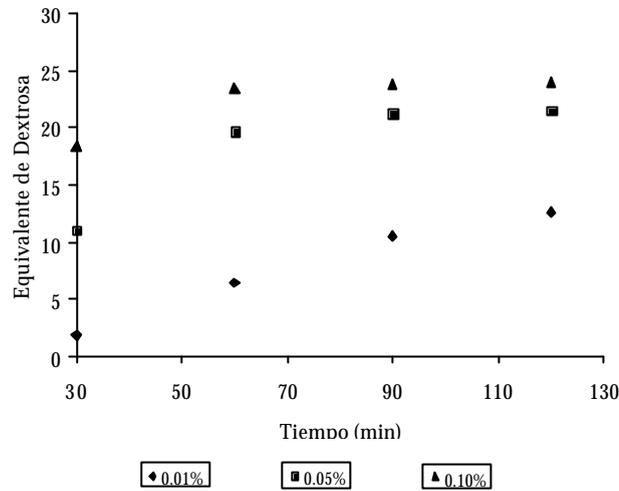
**Tabla 2:** Hidrólisis del almidón en una suspensión al 6%(p/p) de las tortas de yuca y umarí con Fungamyl 5000 a pH 4.7 y 50°C

Característica	Porcentaje <sup>2</sup> de Fungamyl 5000 BG / minutos															
	Blanco <sup>1</sup>				0.01				0.05				0.10			
	30	60	90	120	30	60	90	120	30	60	90	120	30	60	90	120
<b>ALMIDÓN DE TORTA DE YUCA</b>																
Sobrenadante	9.95	35.50	35.10	34.62	34.22	35.07	36.40	32.53	31.14	33.14	36.53	32.14	31.83			
Peso (%) <sup>3</sup>	0.74	1.90	6.48	10.74	12.92	11.27	20.14	21.78	21.99	18.78	24.00	24.37	24.52			
Equivalente de dextrosa	1.30	5.00	5.25	5.50	5.50	5.00	4.75	5.00	5.50	5.11	4.83	5.21	5.31			
Sólidos solubles (%)	1.32	4.95	5.10	5.31	5.97	5.08	4.76	4.99	5.19	5.11	4.83	5.21	5.31			
Sólidos totales (%)	0.045	0.00	0.00	0.07	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00			
Sólidos insolubles (%)	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Reacción con Yodo																
Torta residual	48.00	20.90	19.80	20.30	19.21	21.32	21.72	23.39	21.98	21.54	22.07	21.35	21.37			
Retención de sólidos (%BS)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
Reacción con Yodo																
<b>ALMIDÓN DE TORTA DE UMARÍ</b>																
Sobrenadante	9.75	34.79	34.39	33.93	33.54	34.37	35.67	31.88	30.52	32.48	35.80	31.48	31.19			
Peso (%) <sup>3</sup>	0.73	1.86	6.35	10.53	12.66	11.04	19.74	21.34	21.55	18.40	23.52	23.88	24.03			
Equivalente de dextrosa	1.27	4.90	5.14	5.15	5.39	4.90	4.66	4.90	5.39	5.15	4.59	5.34	5.39			
Sólidos solubles (%)	1.30	4.85	5.00	5.20	5.85	4.99	4.66	4.89	5.09	5.00	4.73	5.11	5.21			
Sólidos totales (%)	0.044	0.00	0.00	0.069	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00			
Sólidos insolubles (%)	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Reacción con Yodo																
Torta residual	47.00	20.38	19.40	19.89	18.83	20.89	21.29	22.92	21.54	21.11	21.63	20.92	20.94			
Retención de sólidos (%BS)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
Reacción con Yodo																

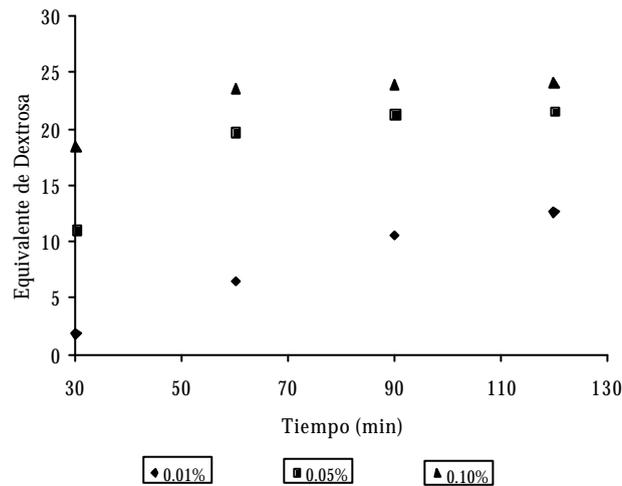
<sup>1</sup> Sin hidrólisis enzimática

<sup>2</sup> Concentración en porcentaje (p/p) referido a la torta

<sup>3</sup> Porcentaje (p/p) referido a la suspensión



**Figura 2:** Cinética del ED en el hidrolizado de la torta de yuca



**Figura 3:** Cinética del ED en el hidrolizado de la torta de umarí

saturando a la enzima. En la segunda etapa la formación de producto es menos dependiente del tiempo, la concentración del producto ha aumentado y la velocidad de reacción ha disminuido con respecto a la primera etapa. La última etapa muestra independencia entre la formación de producto y el tiempo, y la velocidad de reacción tiende a ser constante.

En la Tabla 3 se observa que la amiloglucosidasa no tiene influencia sobre la cantidad de sobrenadante recuperado. También se puede observar que los valores de ED aumentan entre 10 a 14 unidades. Teniendo los máximos valores de ED para la torta de yuca 38.7 y para la torta de umarí 37.7, para la concentración de 0.1% de alfa-amilasa y 0.1% de amiloglucosidasa, en un

**Tabla 3:** Hidrólisis del almidón en una suspensión al 6% (p/p) de las tortas de yuca y umarí con una combinación de alfa amilasa y amiloglucosidasa a pH 4.5 y 55°C

Característica	Concentración de Enzimas (p/p) <sup>1</sup>		
	Alfa amilasa 0.10	Alfa amilasa + Amiloglucosidasa 0.10 + 0.05	Alfa-amilasa + Amiloglucosidasa 0.10 + 0.10
<b>ALMIDÓN DE TORTA DE YUCA</b>			
Sobrenadante			
Peso (%) <sup>2</sup>	36.53	33.63	38.20
Equivalente de dextrosa	24.00	34.02	38.70
Sólidos solubles (%)	4.68	4.90	4.95
Sólidos totales (%)	4.83	5.00	5.20
Sólidos insolubles (%)	0.17	0.10	0.30
Torta residual			
Retención de sólidos (%BS)	22.07	23.74	19.73
<b>ALMIDÓN DE TORTA DE UMARÍ</b>			
Sobrenadante			
Peso (%) <sup>2</sup>	35.80	34.63	38.10
Equivalente de dextrosa	23.52	33.02	37.70
Sólidos solubles (%)	4.59	4.79	4.85
Sólidos totales (%)	4.73	4.90	5.10
Sólidos insolubles (%)	0.16	0.19	0.29
Torta residual			
Retención de sólidos (%BS)	21.63	22.95	17.99

<sup>1</sup> Porcentaje (p/p) referido a la torta<sup>2</sup> Porcentaje (p/p) referido a la suspensión**Tabla 4:** Hidrólisis del almidón en una suspensión al 6% (p/p) de las tortas de yuca y umarí con una combinación de las 3 enzimas pH 4.5 y 60°C

Característica	Concentración de Enzimas (p/p) <sup>2</sup>			
	Blanco <sup>1</sup> 0.10	Alfa amilasa 0.10 + 0.05	Alfa amilasa + Amiloglucosidasa 0.10 + 0.10	Alfa-amilasa + Amiloglucosidasa
<b>ALMIDÓN DE TORTA DE YUCA</b>				
Sobrenadante				
Peso (%) <sup>3</sup>	9.95	38.20	37.50	37.95
Equivalente de dextrosa	0.74	38.70	44.00	48.95
Sólidos solubles (%)	1.30	4.95	4.95	4.85
Sólidos totales (%)	1.32	5.20	4.78	5.37
Sólidos insolubles (%)	0.045	0.30	0.49	0.42
Torta residual				
Retención de sólidos (%BS)	48.00	19.73	20.99	20.75
<b>ALMIDÓN DE TORTA DE UMARÍ</b>				
Sobrenadante				
Peso (%)	9.95	38.10	37.25	37.85
Equivalente de dextrosa	0.74	37.70	43.90	48.76
Sólidos solubles (%)	1.30	4.85	4.85	4.75
Sólidos totales (%)	1.32	5.10	4.73	5.35
Sólidos insolubles (%)	0.045	0.29	0.45	0.40
Torta residual				
Retención de sólidos (%BS)	48.00	17.99	18.95	18.75

<sup>1</sup> Sin hidrólisis<sup>2</sup> Porcentaje (p/p) referido a la torta<sup>3</sup> Porcentaje (p/p) referido a la suspensión

tiempo de hidrólisis de 60 minutos. Esto indica que existe también una fracción de almidón que es retenida en la torta, que no es degradada por la alfa-amilasa y la amiloglucosidasa. Este almidón resistente al ataque enzimático puede tener su origen en la naturaleza misma del almidón de la yuca y umarí, ya que autores como Fennema (1982), señalan la existencia de un almidón resistente al ataque enzimático *in vitro* e *in vivo* que se origina debido a la retrogradación de la amilosa y a la formación de complejos de amilosa-lípidos.

En la Tabla 4 se observa que en la combinación de las 3 enzimas, los mayores valores de ED corresponden a 48.95 para la torta de yuca y 48.76 para la torta de umarí, en una concentración de 1% de celulasa. El incremento de ED por acción de las celulasa de debe a la hidrólisis de la celulosa en glucosa y/o celobiosa, y también por disminución de la viscosidad, permitiendo que ocurra una mayor interacción entre el almidón y la alfa-amilasa y amiloglucosidasa.

#### 4. CONCLUSIONES

Para la obtención de mejores resultados al ataque enzimático, se sometió a la suspensión de la torta al 6% a un tratamiento térmico de 75°C por 5 minutos:

Los mejores resultados en cuanto al mayor valor de ED obtenido para el tratamiento con la alfa-amilasa Fungamyl 5000, fueron 24.00 para la yuca y 23.52 para el umarí, con una concentración de enzima del 0.1% por 60 minutos.

Los mejores resultados en cuanto al mayor valor de ED obtenido para el tratamiento con la mezcla de la alfa-amilasa Fungamyl 5000 y la amiloglucosidasa AMG 300 L, fueron 38.7 para la yuca y 37.7 para el umarí, con

una concentración de enzima del 0.1% para ambas enzimas por 60 minutos.

Los mejores resultados en cuanto al mayor valor de ED obtenido para el tratamiento con la mezcla de la alfa-amilasa Fungamyl 5000, la amiloglucosidasa AMG 300 L y la celulasa Celluclast 1.5 L, fueron 48.95 para la yuca y 48.76 para el umarí, con una concentración de enzima del 0.1% para la alfa-amilasa, 0.1% para la amiloglucosidasa y 1% para la celulasa, durante 60 minutos.

Queda demostrado que se puede utilizar los desechos del umarí y de la yuca, para obtener productos que pueden ser utilizados en las industrias alimentarias, ya sea como jarabes, sustratos para obtener otros productos fermentables, etc.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre Vargas E. B. Extracción de almidón a partir de la semilla de umarí. Disertación de Ingeniero, Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, UNAP, Iquitos, Perú (1987)
- Benavides M.; et al. Estudio sobre la obtención de glucosa a partir de harina de arroz mediante hidrólisis enzimática. Tecnología, nº153, Colombia (1985)
- Braverman J.B.S. Bioquímica de los alimentos. Editorial Manual Moderno, S.A. de C.V, México (1980)
- Gutiérrez R.A. Especies de frutales nativos de la selva del Perú: Estudio botánico y propagación por semillas (1969)
- Montaldo A. La yuca: origen, mejoramiento e industria. IICA. (1972)
- Novo Nordisk. Ficha Técnica de Enzimas (1999)
- Wiseman A. Manual de biotecnología de los enzimas. Editorial Acribia S.A., Zaragoza, España (1991)