

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**Facultad de Industrias Alimentarias**



**Estudio de la Hidrólisis Enzimática de la  
Maca (*Lepidium peruvianum* Chacón *sp.*  
*nov.*) para la Obtención de un Jarabe  
Concentrado**

Tesis para optar el Título de  
Ingeniero en Industrias Alimentarias

**BORIS CHICANA VÉLEZ**

Lima - Perú

2002

# INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CONTENIDO	vii
INDICE DE CUADROS	xii
INDICE DE FIGURAS	xiv
ANEXOS	xv
<b>I. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISION DE LITERATURA</b>	<b>3</b>
<b>2.1. LA MACA</b>	<b>3</b>
2.1.1. DESCRIPCION DE LA MACA Y SUS ECOTIPOS	4
2.1.2. CLASIFICACION TAXONOMICA	5
2.1.3. ETNOMEDICINA	6
2.1.4. USOS	8
2.1.5. ESTUDIOS FITOQUIMICOS	9
2.1.6. ESTUDIOS QUIMICO-NUTRICIONALES	9
2.1.6.1. CARBOHIDRATOS	10
a. AZUCARES REDUCTORES	10
b. ALMIDON	12
2.1.6.2. PROTEINAS	13
2.1.6.3. MINERALES Y VITAMINAS	14
2.1.6.4. OTROS COMPONENTES DE LA MACA	15
<b>2.2. PROCESO BIOTECNOLOGICO</b>	<b>15</b>
2.2.1. ENZIMAS	16

2.2.1.1. LAS ENZIMAS COMO CATALIZADORES BIOLÓGICOS	16
2.2.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS ENZIMAS INDUSTRIALES	16
2.2.1.3. COFACTORES	18
2.2.1.4. SUSTRATOS DE ENZIMAS	18
2.2.1.5. HIDROLASAS	19
a. $\alpha$ -AMILASA BACTERIANA (EC. 3.2.1.1)	19
b. GLUCOAMILASA (EC 3.2.1.3)	19
c. PROTEASA (EC 3.4.24.4)	20
d. CELULASA (EC 3.2.1.4)	21
e. ENZIMAS PECTOLÍTICAS (EC 3.2.1.15)	21
2.2.2. HIDROLISIS ENZIMÁTICA	23
2.2.2.1. HIDROLISIS DEL ALMIDÓN	24
2.2.2.1.1. DEXTROSA EQUIVALENTE	25
2.2.2.1.2. CAMBIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS POR HIDROLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN	26
2.2.2.2. HIDROLISIS ENZIMÁTICA DE LA PROTEÍNA	27
2.2.2.3. HIDROLISIS ENZIMÁTICA DE LA CELULOSA	29
2.2.2.4. HIDROLISIS ENZIMÁTICA DE LOS COMPONENTES PECTICOS	31
2.3. JARABES	31
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	33
<b>3.1. MATERIALES E INSUMOS</b>	33
3.1.1. MATERIA PRIMA	33
3.1.2. ENZIMAS	33
a. "TERMAMYL TIPO 120L" de Novo Nordisk A/S	33

b. "AMG 400L" de Novo Nordisk A/S, tipo Lo-prot.	33
c. "FLAVOURZYME" de Novo Nordisk A/S	34
d. "BIOCELULASA P79" de Biocon S.A.	34
e. "BIOPECTINASA P200" de Biocon S.A.	34
<b>3.2. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS</b>	<b>35</b>
3.2.1. EQUIPOS	35
3.2.2. EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA OBTENCION DEL JARABE HIDROLIZADO-CONCENTRADO DE MACA A NIVEL PILOTO (INDDA-UNALM)	36
3.2.3. MATERIALES	36
3.2.4. REACTIVOS	36
<b>3.3. METODOS DE ANALISIS</b>	<b>37</b>
3.3.1. ANALISIS FISICO-QUIMICO DE LA MATERIA PRIMA	37
3.3.2. ANALISIS DEL HIDROLIZADO DE MACA	39
3.3.3. ANALISIS DEL PRODUCTO FINAL	40
3.3.4. DETERMINACION DE AZUCARES REDUCTORES	41
3.3.5. DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD ENZIMATICA	42
a. ACTIVIDAD DE LA $\alpha$ -AMILASA	42
b. ACTIVIDAD DE LA GLUCOAMILASA	42
c. ACTIVIDAD DE LA PROTEASA	42
d. ACTIVIDAD DE CELULASA	42
e. ACTIVIDAD DE LA PECTINASA	42
3.3.6. ANALISIS REOLOGICO DEL JARABE HIDROLIZADO CONCENTRADO DE MACA	43
<b>3.4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL</b>	<b>43</b>

	X
<b>3.4.1. DISEÑO EXPERIMENTAL</b>	<b>45</b>
3.4.1.1. EVALUACION DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO TERMICO PREVIO EN LA SOLUBILIZACION DE LOS COMPONENTES DE LA MACA	48
3.4.1.2. LICUEFACCION DEL ALMIDON DE MACA	49
3.4.1.3. EVALUACION DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO TERMICO A PRESION ELEVADA EN LA SOLUBILIZACION DE LOS CONSTITUYENTES DE LA MACA	50
3.4.1.4. HIDROLISIS DE LOS OTROS POLIMEROS DE LA MACA	50
3.4.1.5. OBTENCION DEL JARABE HIDROLIZADO-CONCENTRADO DE MACA	51
<b>3.5. ANALISIS ESTADISTICO</b>	<b>54</b>
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSION</b>	<b>55</b>
<b>4.1. ANALISIS FISICO-QUIMICO DE LA RAIZ DE MACA</b>	<b>55</b>
<b>4.2. DETERMINACION DE ACTIVIDADES ENZIMATICAS</b>	<b>57</b>
4.2.1. ACTIVIDAD $\alpha$ -AMILASA EN "TERMAMYL TIPO 120L"	57
4.2.2. ACTIVIDAD ENZIMATICA DE GLUCOAMILASA	58
4.2.3. ACTIVIDAD ENZIMATICA DEL COMPLEJO PROTEASA/ PEPTIDASA "FLAVOURZYME"	60
4.2.4. ACTIVIDAD CELULASA EN "BIOCELULASA P79"	60
4.2.5. ACTIVIDAD PECTINASA EN "BIOPECTINASA P200"	60
<b>4.3. HIDROLISIS ENZIMATICA DE LA SUSPENSION DE MACA</b>	<b>63</b>
4.3.1. EVALUACION DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO TERMICO PREVIO A LA SOLUBILIZACION DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE LA MACA	63
4.3.2. LICUEFACCION DEL ALMIDON DE MACA	65

## INDICE DE CUADROS

### CUADRO

1:	ANALISIS FISICO-QUIMICO DE LA RAIZ DE MACA (% bs)	11
2:	ANALISIS PROXIMAL DEL ALMIDON DE MACA	12
3:	ENZIMAS UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA	17
4:	VISCOSIDAD DE MALTODEXTRINAS Y JARABE DE MAIZ	27
5:	ANALISIS FISICO-QUIMICO DE LA RAIZ DE MACA	54
6:	CANTIDAD DE $\alpha$ -AMILASA BACTERIANA "TERMAMYL TIPO 120L" EMPLEADA	56
7:	CANTIDAD DE ENZIMA (U/g) UTILIZADA EN LOS TRATAMIENTOS ENZIMATICOS	61
8:	INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO TERMICO PREVIO SOBRE LA SOLUBILIZACION DE LA MACA	63
9:	EVOLUCION DE SOLIDOS SOLUBLES Y REACCION CON YODO EN LOS EXTRACTOS DE MACA OBTENIDOS UTILIZANDO DISTINTAS DILUCIONES Y CONCENTRACIONES DE TERMAMYL TIPO 120L	65
10:	EVOLUCION DE AZUCARES REDUCTORES, ED Y RENDIMIENTO EN SOLIDOS EN LOS EXTRACTOS DE MACA OBTENIDOS UTILIZANDO DISTINTAS DILUCIONES Y CONCENTRACIONES DE TERMAMYL TIPO 120L	67
11:	RESULTADOS DEL MEJOR TRATAMIENTO DE LICUEFACCION DE LA SUSPENSION DE MACA CON $\alpha$ -AMILASA "TERMAMYL TIPO 120L" Y EL BLANCO	74
12:	ANALISIS DEL HIDROLIZADO Y DE LA TORTA RESIDUAL OBTENIDOS CON EL MEJOR TRATAMIENTO CON TERMAMYL, PARA 100 g DE MATERIA SECA	74
13:	RESULTADOS DEL TRATAMIENTO TERMICO A PRESION ELEVADA EN LA SOLUBILIZACION DE LOS COMPONENTES DE MACA CON EL MEJOR TRATAMIENTO CON $\alpha$ -AMILASA	77

- 14: ANALISIS DEL HIDROLIZADO Y DE LA TORTA RESIDUAL OBTENIDOS CON 0.1 U DE TERMAMYL TIPO 120L DURANTE 30 MINUTOS A 6 PSIA (110°C) EN SUSPENSION DE MACA:AGUA 1:3, PARA 100 g DE MATERIA SECA 78
- 15: ANALISIS DEL HIDROLIZADO Y DE LA TORTA RESIDUAL OBTENIDOS CON EL MEJOR TRATAMIENTO CON  $\alpha$ -AMILASA, PREVIO ABLANDAMIENTO DE FIBRA CRUDA A 6 PSIA (110°C) DURANTE 30 MINUTOS, PARA 100 g DE MATERIA SECA 78
- 16: RESULTADOS DE LA HIDROLISIS ENZIMATICA UTILIZANDO AMILOGLUCOSIDASA DURANTE 15, 30Y 45 MINUTOS EN LA SUSPENSION LICUEFACTADA DE MACA 81
- 17: RESULTADOS DE LA HIDROLISIS ENZIMATICA UTILIZANDO PROTEASA/PEPTIDASA DURANTE 15, 30 Y 45 MINUTOS EN LA SUSPENSION LICUEFACTADA DE MACA 84
- 18: RESULTADOS DE LA HIDROLISIS ENZIMATICA UTILIZANDO CELULASA DURANTE 15, 30 Y 45 MINUTOS EN LA SUSPENSION LICUEFACTADA DE MACA 87
- 19: RESULTADOS DE LA HIDROLISIS ENZIMATICA UTILIZANDO PECTINASA DURANTE 15, 30 Y 45 MINUTOS EN LA SUSPENSION LICUEFACTADA DE MACA 90
- 20: ANALISIS DE LOS MEJORES TRATAMIENTOS DE HIDROLISIS EN LA SUSPENSION LICUEFACTADA DE MACA 93
- 21: ANALISIS DEL HIDROLIZADO Y DE LA TORTA RESIDUAL OBTENIDOS CON EL TRATAMIENTO T1 EN SUSPENSION DE MACA, PARA 100 g DE MATERIA SECA 95
- 22: ANALISIS DEL HIDROLIZADO Y DE LA TORTA RESIDUAL OBTENIDOS CON EL TRATAMIENTO T2 EN SUSPENSION DE MACA, PARA 100 g DE MATERIA SECA 95
- 23: ANALISIS DEL HIDROLIZADO Y LA TORTA RESIDUAL OBTENIDOS CON EL TRATAMIENTO T4 EN SUSPENSION DE MACA, PARA 100 g DE MATERIA SECA 97
- 24: RESULTADOS DEL ANALISIS FISICO-QUIMICO DEL JARABE HIDROLIZADO-CONCENTRADO DE MACA OBTENIDO POR VIA ENZIMATICA 103

## INDICE DE FIGURAS

### FIGURA

1:	FLUJO PARA LA OBTENCION DEL HIDROLIZADO-CONCENTRADO DE MACA	44
2:	DISEÑO EXPERIMENTAL	46
3:	DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA OBTENCION DEL HIDROLIZADO-CONCENTRADO DE MACA A NIVEL PILOTO (INDDA-UNALM)	51
4:	(a) CURVA ESTANDAR DE MALTOSA, (b) CURVA DE DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD $\alpha$ -AMILASA DE TERMAMYL TIPO 120L	57
5:	CURVA PARA LA DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD GLUCOAMILASA DE AMG 400L	58
6:	(a) CURVA ESTANDAR DE GLUCOSA, (b) CURVA PARA LA DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD CELULASA DE "BIOCELULASA P79"	60
7:	CURVA PARA LA DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD PECTINASA UTILIZANDO 0.2% DE BIOPECTINASA P200	61
8:	CINETICA DE LICUEFACCION DEL ALMIDON DE SUSPENSIONES DE MACA: (a) 1:7, (b) 1:5 Y (c) 1:3, UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE TERMAMYL TIPO 120L	69
10:	RENDIMIENTO EN SOLIDOS (%) EN LOS EXTRACTOS OBTENIDOS DE SUSPENSIONES DE MACA: (a) 1:7, (b) 1:5 Y (c) 1:3, HIDROLIZADAS CON DISTINTAS CONCENTRACIONES DE TERMAMYL TIPO 120L	72
10:	REOGRAMA DEL JARABE CONCENTRADO DE MACA (Viscosidad vs. $\gamma$ )	102
11:	REOGRAMA DEL JARABE CONCENTRADO DE MACA ( $\tau$ vs. $\gamma$ )	102