

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

Facultad de Industrias Alimentarias



**Estudio de Cuatro Métodos Para la Obtención de
Glucosa a Partir de Almidón de Camote**

(Ipomoea batatas (L.) Lam.)

*Tesis Para Optar el Título de
Ingeniero en Industrias Alimentarias*

ANA CONSUELO AGUILAR GALVEZ

Lima - Perú

1995

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CONTENIDO	viii
INDICE DE CUADROS	xiv
INDICE DE FIGURAS	xvi
ANEXOS	xx
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	2
2.1. CAMOTE	2
2.1.1. CLASIFICACION BOTANICA	2
2.2. ALMIDONES	3
2.2.1. ESTRUCTURA DE LOS CONSTITUYENTES QUIMICOS DEL ALMIDON	3
2.2.1.1. AMILOSA	3
2.2.1.2. AMILOPECTINA	4
2.3. ALMIDON DE CAMOTE	5
2.3.1. CARACTERISTICAS DEL ALMIDON DE CAMOTE	6
2.3.2. CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA	7
2.3.3. GELATINIZACION	7
2.3.4. CAMBIOS REOLOGICOS	8
2.3.4.1. VISCOMETRIA	8
2.3.4.2. FORMACION DE PASTA	9
2.3.4.3. CONSISTENCIA DEL GEL Y RETROGRADACION	9
2.3.5. SUSCEPTIBILIDAD A LA DEGRADACION	10
2.3.5.1. DEGRADACION POR ACIDO	10

2.3.5.2. DEGRADACION POR ENZIMAS	11
2.4. ENZIMAS	11
2.4.1. α -AMILASA (α -1,4-glucan-4-glucanohidrolasa)	13
2.4.1.1. ACCION DE LA α -AMILASA	14
2.4.1.2. PROPIEDADES	15
2.4.1.3. DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD	16
2.4.1.4. MODELO DE ACCION DE LA α -AMILASA	17
2.4.1.5. α -AMILASA DE <u>B. subtilis</u> y <u>B. licheniformis</u>	17
2.4.2. β -AMILASA (α -1,4-glucan-maltohidrolasa)	19
2.4.2.1. ACCION DE LA β -AMILASA	20
2.4.2.2. PROPIEDADES	21
2.4.2.3. MODELO DE ACCION DE LA β -AMILASA	22
2.4.3. GLUCOAMILASA (α -1,4-glucan-glucohidrolasa)	22
2.4.3.1. ACCION DE LA GLUCOAMILASA	23
2.4.3.2. PROPIEDADES	23
2.4.3.3. MODELO DE ACCION DE LA GLUCOAMILASA	24
2.4.4. OTRAS ENZIMAS AMIOLITICAS	24
2.4.4.1. PULULANASA (pululan-6-glucanohidrolasa)	25
2.4.5. COFACTORES ENZIMATICOS	26
2.5. CARBOHIDRATOS	26
2.5.1. GLUCOSA	26
2.5.2. JARABES DE GLUCOSA	27
2.5.2.1. USO DE LOS JARABES DE GLUCOSA	28
2.5.3. EQUIVALENTE DE DEXTROSA	29
2.5.4. CICLODEXTRINAS	29
2.6. HIDROLISIS	30
2.6.1. HIDROLISIS ACIDA	30

2.6.2. HIDROLISIS ACIDA-ENZIMATICA	32
2.6.3. HIDROLISIS ENZIMATICA	33
2.6.3.1. LICUEFACCION	34
2.6.3.2. SACARIFICACION	35
2.7. NEUTRALIZACION Y FILTRACION	36
2.8. REFINACION Y CONCENTRACION	36
III. MATERIALES Y METODOS	38
3.1. MATERIAS E INSUMOS	38
3.1.1. MATERIA PRIMA	38
3.1.2. ENZIMAS	38
3.2. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	40
3.2.1. EQUIPOS	40
3.2.2. MATERIALES	42
3.2.3. REACTIVOS	42
3.3. METODOS DE ANALISIS	43
3.3.1. ANALISIS FISICO-QUIMICO	43
3.3.1.1. ANALISIS QUIMICO DEL ALMIDON Y LA HARINA DE CAMOTE	43
3.3.1.2. ANALISIS FISICO-QUIMICO DEL JARABE DE GLUCOSA	44
3.3.2. DETERMINACION DE AZUCARES REDUCTORES	46
3.3.3. DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD ENZIMATICA	48
3.3.3.1. ACTIVIDAD DE LA α -AMILASA	48
3.3.3.2. ACTIVIDAD DE LA GLUCOAMILASA	49
3.3.4. DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD APARENTE	50

3.4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	50
3.4.1. OBTENCION DEL ALMIDON DE CAMOTE	50
3.4.2. OBTENCION DE LA HARINA DE CAMOTE	51
3.4.3. HIDROLISIS DEL ALMIDON DE CAMOTE	51
3.4.3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL	51
3.4.3.2. HIDROLISIS ENZIMATICA	53
3.4.3.2.1. LICUEFACCION ENZIMATICA	53
3.4.3.2.2. SACARIFICACION ENZIMATICA	58
3.4.3.3. HIDROLISIS ACIDA	59
3.4.3.4. HIDROLISIS ACIDA-ENZIMATICA	61
3.4.4. OBTENCION DEL JARABE DE GLUCOSA	61
3.4.4.1. CLARIFICACION	61
3.4.4.2. DECOLORACION	63
3.4.4.3. FILTRACION	63
3.4.4.4. CONCENTRACION	63
3.4.4.5. PRODUCTO FINAL	63
3.5. ANALISIS ESTADISTICO	64
3.6. HIDROLISIS ENZIMATICA DE LA HARINA DE CAMOTE	65
3.6.1. LICUEFACCION DE LA HARINA DE CAMOTE	65
3.6.2. SACARIFICACION DE LA HARINA DE CAMOTE	67
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	68
4.1. ANALISIS QUIMICO	68
4.1.1. ANALISIS QUIMICO DEL ALMIDON DE CAMOTE	68
4.1.2. ANALISIS QUIMICO DE LA HARINA DE CAMOTE	69
4.2. DETERMINACION DE AZUCARES REDUCTORES	70

V. CONCLUSIONES	128
VI. RECOMENDACIONES	129
VII. BIBLIOGRAFIA	130

INDICE DE CUADROS

CUADRO

1:	CARACTERISTICAS DE TRES TIPOS DE AMILASA	13
2:	COMPOSICION DE SACARIDOS DE JARABES OBTENIDOS POR HIDROLISIS ACIDA DE ALMIDON DE MAIZ	32
3:	RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO DEL ALMIDON DE CAMOTE	68
4:	RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO DE LA HARINA DE CAMOTE	70
5:	CINETICA DE LICUEFACCION DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON AL 20, 30, 35 y 40% (P/V) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE α -AMILASA DE <u>B. licheniformis</u>	78
6:	CINETICA DE LICUEFACCION DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON AL 30 y 35% (P/V) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE α -AMILASA DE <u>B. subtilis</u>	84
7:	CINETICA DE LICUEFACCION DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON AL 30 y 35% (P/V) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE α -AMILASA DE <u>B. subtilis</u>	89
8:	EVOLUCION DE LA VISCOSIDAD APARENTE Y EL ED DURANTE LA LICUEFACCION DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON (30 y 35% P/V) CON α -AMILASA DE <u>B. licheniformis</u>	93
9:	EVOLUCION DE LA VISCOSIDAD APARENTE Y EL ED DURANTE LA LICUEFACCION DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON (30 y 35% P/V) CON α -AMILASA DE <u>B. subtilis</u>	93
10:	CINETICA DE SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON AL 20, 30 y 40% (P/V) (LICUEFACTADAS EN UNA ETAPA) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE GLUCOAMILASA DE <u>A. niger</u>	97

11:	CINETICA DE SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON AL 35% (P/V) CON DIFERENTE ED INICIAL (LICUEFACTADAS EN UNA ETAPA) Y UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE GLUCOAMILASA DE <u>A. niger</u>	101
12:	CINETICA DE SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON AL 30 y 35% (P/V) (LICUEFACTADAS EN DOS ETAPAS) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE GLUCOAMILASA DE <u>A. niger</u>	105
13 :	CINETICA DE LICUEFACCION DE LA SUSPENSION DE HARINA AL 30% (P/V) UTILIZANDO 30.69 U DE α -AMILASA DE <u>B. licheniformis</u>	117
14 :	CINETICA DE LICUEFACCION DE LA SUSPENSION DE HARINA AL 30% (P/V) UTILIZANDO 30.69 U DE α -AMILASA DE <u>B. licheniformis</u> , 0.01% DE CELULASA y 0.01% DE PECTINASA	117
15:	RESULTADOS DEL ANALISIS FISICO-QUIMICO DE LOS JARABES DE GLUCOSA	122
16 :	RESULTADOS DEL ANALISIS DE MINERALES DE LOS JARABES DE GLUCOSA	126
17 :	RENDIMIENTO EN LA OBTENCION DE LOS JARABES DE GLUCOSA	126

INDICE DE FIGURAS

FIGURA

1 :	INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE LA ACTIVIDAD DE LA α -AMILASA DE <u>B. subtilis</u> y <u>B. licheniformis</u>	18
2 :	DISEÑO EXPERIMENTAL	52
3 :	DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA OBTENCION DEL JARABE DE GLUCOSA A PARTIR DE ALMIDON DE CAMOTE MEDIANTE HIDROLISIS ENZIMATICA CON LICUEFACCION EN UNA ETAPA	55
4 :	DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA OBTENCION DEL JARABE DE GLUCOSA A PARTIR DE ALMIDON DE CAMOTE MEDIANTE HIDROLISIS ENZIMATICA CON LICUEFACCION EN DOS ETAPAS	57
5 :	DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA OBTENCION DEL JARABE DE GLUCOSA A PARTIR DE ALMIDON DE CAMOTE MEDIANTE HIDROLISIS ACIDA	60
6 :	DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA OBTENCION DEL JARABE DE GLUCOSA A PARTIR DE ALMIDON DE CAMOTE MEDIANTE HIDROLISIS ACIDA-ENZIMATICA	62
7 :	DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA OBTENCION DEL JARABE DE GLUCOSA A PARTIR DE HARINA DE CAMOTE MEDIANTE HIDROLISIS ENZIMATICA CON LICUEFACCION EN UNA ETAPA	66
8 :	CURVA ESTANDAR DE GLUCOSA	71
9 :	CURVA ESTANDAR DE MALTOSA	71
10 :	CURVA DE ACTIVIDAD ENZIMATICA DE TERMAMYL 120L	73
11 :	CURVA DE ACTIVIDAD ENZIMATICA DE CANALPHA 345	73
12 :	CURVA DE ACTIVIDAD ENZIMATICA DE AMG 400L	76

13 :	CINETICA DE LICUEFACCION DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON AL 20% (P/V) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE α -AMILASA DE <u>B. licheniformis</u>	79
14 :	CINETICA DE LICUEFACCION DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON AL 30% (P/V) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE α -AMILASA DE <u>B. licheniformis</u>	79
15 :	CINETICA DE LICUEFACCION DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON AL 35% (P/V) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE α -AMILASA DE <u>B. licheniformis</u>	82
16 :	CINETICA DE LICUEFACCION DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON AL 40% (P/V) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE α -AMILASA DE <u>B. licheniformis</u>	82
17 :	CINETICA DE LICUEFACCION DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON AL 30% (P/V) UTILIZANDO α -AMILASA DE <u>B. subtilis</u> y <u>B. licheniformis</u> (61.38 U/50 mL)	87
18 :	CINETICA DE LICUEFACCION DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON AL 35% (P/V) UTILIZANDO α -AMILASA DE <u>B. subtilis</u> y <u>B. licheniformis</u> (61.38 U/50 mL)	87
19 :	CINETICA DE LICUEFACCION DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON AL 30% (P/V) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE α -AMILASA DE <u>B. subtilis</u>	90
20 :	CINETICA DE LICUEFACCION DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON AL 35% (P/V) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE α -AMILASA DE <u>B. subtilis</u>	90
21 :	EVOLUCION DE LA VISCOSIDAD APARENTE DURANTE LA LICUEFACCION DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON (30 y 35% P/V) CON α -AMILASA DE <u>B. licheniformis</u>	94

22 :	EVOLUCION DE LA VISCOSIDAD APARENTE DURANTE LA LICUEFACCION DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON (30 y 35% P/V) CON α -AMILASA DE <u>B. subtilis</u>	94
23 :	CINETICA DE SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON AL 20% (P/V) (LICUEFACTADAS EN UNA ETAPA) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE GLUCOAMILASA	98
24 :	CINETICA DE SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON AL 30% (P/V) (LICUEFACTADAS EN UNA ETAPA) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE GLUCOAMILASA	98
25 :	CINETICA DE SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON AL 40% (P/V) (LICUEFACTADAS EN UNA ETAPA) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE GLUCOAMILASA	99
26 :	CINETICA DE SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON AL 35% (P/V) CON DIFERENTE ED INICIAL (LICUEFACTADAS EN UNA ETAPA) Y UTILIZANDO 0.63 (a), 3.17 U (b) y 6.34 U (c) DE GLUCOAMILASA	102
27 :	CINETICA DE SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON AL 30% (P/V) (LICUEFACTADAS EN DOS ETAPAS) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE GLUCOAMILASA	106
28 :	CINETICA DE SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON AL 35% (P/V) (LICUEFACTADAS EN DOS ETAPAS) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE GLUCOAMILASA	106
29 :	EVOLUCION DE LA VISCOSIDAD APARENTE Y EL ED DURANTE LA SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON (30 y 35% P/V) LICUEFACTADAS EN UNA ETAPA	110

30 :	EVOLUCION DE LA VISCOSIDAD APARENTE Y EL ED DURANTE LA SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON (30 y 35% P/V) LICUEFACTADAS EN DOS ETAPAS	110
31 :	CINETICA DE HIDROLISIS ACIDA DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON AL 20% (P/V)	113
32 :	CINETICA DE SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON AL 20% (P/V) LICUEFACTADAS CON ACIDO Y ENZIMA	113
33 :	EVOLUCION DE LA VISCOSIDAD APARENTE Y EL ED DURANTE LA SACARIFICACION DE LA SOLUCION DE HARINA AL 30% (P/V) (LICUEFACTADA EN UNA ETAPA) UTILIZANDO GLUCOAMILASA	118

ANEXO A-

- 1: RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACION DE LA CURVA ESTANDAR DE GLUCOSA
- 2: RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACION DE LA CURVA ESTANDAR DE MALTOSA
- 3: RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD ENZIMATICA DE TERMAMYL 120L
- 4: RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD ENZIMATICA DE CANALPHA 345
- 5: RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD ENZIMATICA DE AMG 400L
- 6: EVOLUCION DE LA VISCOSIDAD APARENTE Y EL ED DURANTE LA SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON (30 y 35% P/V) LICUEFACTADAS EN UNA ETAPA
- 7: EVOLUCION DE LA VISCOSIDAD APARENTE Y EL ED DURANTE LA SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON (30 y 35% P/V) LICUEFACTADAS EN DOS ETAPAS
- 8: CINETICA DE HIDROLISIS ACIDA DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON AL 20% (P/V)
- 9: CINETICA DE SACARIFICACION DE LA SOLUCION DE ALMIDON AL 20% (P/V) (LICUEFACTADA CON ACIDO) UTILIZANDO GLUCOAMILASA
- 10: EVOLUCION DE LA VISCOSIDAD APARENTE Y EL ED DURANTE LA SACARIFICACION DE LA SOLUCION DE HARINA (30% P/V) CON GLUCOAMILASA DE A. niger

ANEXO B-

- 1 : ANALISIS DE VARIANZA DE LA CINETICA DE LICUEFACCION DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON AL 20% (P/V) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE α -AMILASA DE B. licheniformis
- 2 : ANALISIS DE VARIANZA DE LA CINETICA DE LICUEFACCION DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON AL 30% (P/V) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE α -AMILASA DE B. licheniformis
- 3 : ANALISIS DE VARIANZA DE LA CINETICA DE LICUEFACCION DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON AL 35% (P/V) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE α -AMILASA DE B. licheniformis
- 4 : ANALISIS DE VARIANZA DE LA CINETICA DE LICUEFACCION DE LAS SUSPENSIONES DE ALMIDON AL 40% (P/V) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE α -AMILASA DE B. licheniformis
- 5 : ANALISIS DE VARIANZA DE LA CINETICA DE SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON AL 20% (P/V) (LICUEFACTADAS EN UNA ETAPA) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE GLUCOAMILASA DE A. niger
- 6 : PRUEBA DE DUNCAN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ANALISIS DE VARIANZA DEL ANEXO B-5
- 7 : ANALISIS DE VARIANZA DE LA CINETICA DE SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON AL 30% (P/V) (LICUEFACTADAS EN UNA ETAPA) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE GLUCOAMILASA DE A. niger
- 8 : PRUEBA DE DUNCAN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ANALISIS DE VARIANZA DEL ANEXO B-7

- 9 : ANALISIS DE VARIANZA DE LA CINETICA DE SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON AL 40% (P/V) (LICUEFACTADAS EN UNA ETAPA) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE GLUCOAMILASA DE A. niger
- 10 : PRUEBA DE DUNCAN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ANALISIS DE VARIANZA DEL ANEXO B-9
- 11 : ANALISIS DE VARIANZA DE LA CINETICA DE SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON AL 35% (P/V) CON DIFERENTE ED INICIAL (20 Y 30) (LICUEFACTADAS EN UNA ETAPA) Y UTILIZANDO 3.17 U DE GLUCOAMILASA DE A. niger
- 12 : ANALISIS DE VARIANZA DE LA CINETICA DE SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON AL 35% (P/V) CON DIFERENTE ED INICIAL (20 Y 30) (LICUEFACTADAS EN UNA ETAPA) Y UTILIZANDO 6.34 U DE GLUCOAMILASA DE A. niger
- 13 : ANALISIS DE VARIANZA DE LA CINETICA DE SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON AL 30% (P/V) (LICUEFACTADAS EN DOS ETAPAS) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE GLUCOAMILASA DE A. niger
- 14 : PRUEBA DE DUNCAN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ANALISIS DE VARIANZA DEL ANEXO B-13
- 15 : ANALISIS DE VARIANZA DE LA CINETICA DE SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON AL 35% (P/V) (LICUEFACTADAS EN DOS ETAPAS) UTILIZANDO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE GLUCOAMILASA DE A. niger
- 16 : PRUEBA DE DUNCAN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ANALISIS DE VARIANZA DEL ANEXO B-15

17 : ANALISIS DE VARIANZA DE LA CINETICA DE SACARIFICACION DE LAS SOLUCIONES DE ALMIDON AL 20% (P/V) (LICUEFACTADAS CON ACIDO Y ENZIMA) UTILIZANDO GLUCOAMILASA DE A. niger