

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

***ESCUELA DE POSTGRADO***

**ESPECIALIDAD DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



**AISLADO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL  
ALMIDÓN DE KIWICHA (*Amaranthus caudatus* L.)**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE**

**MAGISTER SCIENTIAE**

**PERCY REYES JAVIER**

**LIMA – PERÚ**

**2007**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSTGRADO**

**ESPECIALIDAD DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**AISLADO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL  
ALMIDÓN DE KIWICHA (*Amaranthus caudatus* L.)**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE:

**MAGISTER SCIENTIAE**

**PERCY REYES JAVIER**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

-----  
Dr. Milber Ureña Peralta  
PRESIDENTE

-----  
M. S. Ritva Repo-Carrasco Valencia  
PATROCINADORA

-----  
Dra. Patricia Glorio Paulet  
MIEMBRO

-----  
M. S. Gloria Pascual Chagman  
MIEMBRO

A los esposos Orlando Percy Félix Reyes Vivas y  
Hela Rosa Javier Ramos mis amados padres.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera que las próximas líneas sirvan como reconocimiento a las personas e instituciones que han hecho posible la realización de esta tesis. A todas ellas, quiero agradecer de todo corazón la ayuda dispensada:

A la M.S. Ritva Repo Carrasco Valencia, patrocinadora de la presente investigación, por su confianza y ayuda.

A los señores Ramiro Navarro Huilca, Julio Moreno, Karina Ccapa Ramírez y Máximo Zúñiga por las facilidades y ayuda brindada durante el desarrollo de la presente investigación.

A la Ingeniera Cecilia Chiang Choy por el apoyo desinteresado que posibilitó las mediciones de los índices de blancura de los almidones.

Al laboratorio de Mecánica de Suelos, especialmente al Ing. Hermes Valdivia Aspilcueta y al señor Fortunato Meza Quispe por las facilidades y ayuda brindada durante el desarrollo de la presente investigación.

Al Programa de Cereales de la Universidad Nacional Agraria La Molina integrados por Ing. Luz Gómez Pando, Ing. Jorge Jiménez Dávalos, Ing. Martha Ibáñez Tremolada, Sr. Luis Santome y Sra. Ruth Paucar Serda.

A los señores César Eduardo Díaz Barrios, Juan Carlos Pajares Quevedo y Genny Luna Mercado por su invaluable apoyo brindado durante el desarrollo de la presente investigación.

A los esposos Orlando Percy Félix Reyes Vivas y Hela Rosa Javier Ramos por la ayuda económica brindada para el desarrollo de la presente investigación.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
ÍNDICE DE FOTOS	iii
RELACIÓN DE ANEXOS	iv
<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>I. INTRODUCCION</b>	<b>3</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>5</b>
2.1. Taxonomía y nombres comunes	5
2.2. Estudio Morfológico, Tamaño y Color del grano del género <i>Amaranthus</i>	6
2.3. Composición del grano de kiwicha	8
2.3.1. Proteína	8
2.3.2. Grasa	8
2.3.3. Ceniza total	9
2.3.4. Fibra cruda	9
2.3.5. Azúcares reductores	9
2.3.6. Almidón	10
2.3.7. Amilosa	10
2.3.8. Morfología, tamaño y color de los granos	11
2.4. El gránulo de almidón - la estructura súper molecular	12
2.4.1. Composición del gránulo de almidón.	12
2.4.2. Otros componentes en el almidón	13
2.4.2.1. Contenido de humedad	13
2.4.2.2. Lípidos presentes en los gránulos de almidón.	13

2.4.2.3.	Proteína presente en el gránulo de almidón	14
2.4.2.4.	Cenizas totales (minerales) presentes en el gránulo de almidón	14
2.4.2.5.	Contenido de fibra cruda	15
2.4.3.	Tamaño y morfología del gránulo de almidón	15
2.4.3.1.	Tamaño del gránulo de almidón	15
2.4.3.2.	Morfología del gránulo de almidón	18
2.4.3.3.	Técnicas para la determinación del tamaño del gránulo de almidón	18
2.5.	El gránulo de almidón - nivel molecular	26
2.5.1.	Estructura de la Amilosa	27
2.5.2.	Amilopectina	29
2.5.3.	Relación Amilosa Amilopectina	32
2.5.4.	Organización granular del almidón	33
2.6.	Gelatinización del almidón	35
2.7.	Retrogradación del almidón	40
2.8.	Aislado de almidón	43
2.8.1.	Rendimiento	44
2.8.2.	Almidón recuperado	45
2.8.3.	Pureza	45
2.9.	Color	46
2.9.1.	Especificación del color	46
2.9.2.	La Escala CIE	46
2.9.3.	La Escala Hunter	47
2.9.4.	El color blanco	48
2.9.5.	Índice de blancura	49
2.9.6.	El color como parámetro de calidad	49
2.10.	Estudio de la pasta elaborada con almidón	50
2.10.1.	Congelación y descongelación	50
2.10.2.	Índices de solubilidad y Poder de Hinchamiento	52

<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>53</b>
3.1.	Lugar de Ejecución	53
3.2.	Materia Prima	53
3.3.	Equipos y Reactivos	53
3.3.1.	Equipos	53
3.3.2.	Reactivos	54
3.4.	Métodos de Análisis	55
3.4.1.	Tamaño	55
3.4.2.	Análisis de algunas características físico químicas para los granos de kiwicha y almidón aislado	55
3.4.3.	Análisis físicos de la pasta	61
3.5.	Metodología Experimental	63
3.5.1.	Caracterizar los granos de kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> L.) de la variedad Centenario	65
3.5.2.	Procedimiento del aislado de almidón a partir de los granos de kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> L.) variedad Centenario	66
3.6.	Diseño Estadístico	74
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y CONCLUSIONES</b>	<b>76</b>
4.1.	Caracterización físico química de la materia prima	76
4.2.	Determinar el efecto de la utilización de soluciones de (bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y etanol), en el porcentaje de rendimiento durante el proceso de aislado de almidón proveniente de granos de kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> L.) variedad Centenario	82
4.3.	Determinar el efecto de la utilización de soluciones de (bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y etanol), en el porcentaje del almidón recuperado durante el proceso de	90

	aislado de almidón proveniente de granos de kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> L.) variedad Centenario	
4.4.	Determinar el efecto de la utilización de soluciones de (bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y etanol), en el porcentaje de Pureza del almidón aislado de granos de kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> L.) variedad Centenario	92
4.5.	Determinar el efecto de la utilización de soluciones de (bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y etanol), en los Índices de Blancura porcentuales del almidón aislado de granos de kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> L.) variedad Centenario, expresados en las Escalas Hunter y CIE	98
4.6.	Determinar el efecto de la utilización de soluciones de (bisulfito de sodio, hidróxido de sodio y etanol), en las concentraciones residuales (proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, ceniza total y azúcares reductores) presentes en el almidón aislado de granos de kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> L.) variedad Centenario.	106
4.6.1.	Análisis del contenido de la proteína cruda presente en el almidón aislado	107
4.6.2.	Análisis del contenido de la grasa presente en el almidón aislado	114
4.6.3.	Análisis del contenido de fibra cruda presente en el almidón aislado	120
4.6.4.	Análisis del contenido de ceniza presente en el almidón aislado	127
4.6.5.	Análisis del contenido de amilosa presente en el almidón aislado	133
4.6.6.	Análisis del contenido de humedad presente en el almidón aislado	138
4.7.	Determinar el efecto producido en las variables Pureza, Índice Blancura en las escalas Hunter y CIE, debido a las concentraciones residuales (proteína cruda, extracto etéreo,	139

fibra cruda, ceniza total) presentes en el almidón aislado de granos de kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> L.) variedad Centenario	
4.7.1.	Efectos en el porcentaje Pureza 139
4.7.2.	Efectos en el Índice de Blancura en la escala Hunter (expresado en porcentaje) 140
4.7.3.	Efectos en el Índice de Blancura en la escala CIE expresado en porcentaje) 140
4.8.	Determinación de Conglomerados para las variables porcentaje de Pureza, Índice de Blancura Hunter e Índice de Blancura CIE 141
4.8.1.	Determinación del Conglomerado para los Registros de la Variable índice de blancura escala Hunter (porcentaje) 141
4.8.2.	Determinación del Conglomerado para los Registros de la Variable porcentaje de Pureza 144
4.8.3.	Determinación del Conglomerado para los Registros de la Variable índice de Blancura en la escala CIE (porcentaje) 146
4.9.	Análisis físicos de la Pasta 148
4.9.1.	Determinación de la Viscosidad Aparente de la Pasta de Almidón de Kiwicha variedad Centenario 148
4.9.2.	Determinación de la Estabilidad y Claridad de la Pasta de Almidón 151
4.9.3.	Determinación de la Estabilidad durante los Ciclos de Congelación y Descongelación de la Pasta de Almidón Aislado de Granos de Kiwicha 153
4.9.4.	Determinación del Índice de Solubilidad y del Poder de Hinchamiento de la Pasta de Almidón Aislado de Granos de Kiwicha 155

V.	CONCLUSIONES	157
VI.	RECOMENDACIONES	160
VII.	BIBLIOGRAFÍA	161
VIII.	ANEXOS	176

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro Nº</b>	<b>Títulos</b>	<b>Pág</b>
1	Tamaño de Gránulo de Almidón Proveniente de Diversos Orígenes Botánicos	17
2	Comparación de las Estructuras de Amilosa y Amilopectina	31
3	Datos de la calibración entre una mixtura de amilosa / amilopectina de papa versus la absorbancia medida a 600nm.	59
4	Algunas Características Físico Químicas de la Harina Integral de Kiwicha Proveniente de la Variedad Centenario	76
5	Rendimiento en porcentaje del almidón aislado de granos de kiwicha variedad Centenario	83
6	Análisis de variancia para el rendimiento	85
7	Porcentaje de almidón recuperado de granos de kiwicha variedad Centenario	90
8	Análisis de variancia para el almidón recuperado	92
9	Porcentaje de pureza del almidón aislado de granos de kiwicha variedad Centenario	93
10	Análisis de Variancia para el porcentaje de pureza del Almidón Aislado de Granos de Kiwicha.	94
11	Registros porcentuales de Índice de Blancura expresado en la escala Hunter provenientes del Almidón Aislado de Granos de Kiwicha variedad Centenario.	99
12	Registros porcentuales de Índice de Blancura expresado en la escala CIE provenientes del Almidón Aislado de Granos de Kiwicha variedad Centenario	100
13	Análisis de Variancia de la variable Índice de Blancura porcentual expresado en la escala Hunter	101
14	Análisis de Variancia de la variable Índice de Blancura porcentual expresado en la escala CIE	102

15	Análisis de variancia para el contenido de proteína residual en el almidón extraído de los granos de Kiwicha variedad Centenario	109
16	Análisis de variancia para el contenido de grasa residual en el almidón extraído de los granos de Kiwicha variedad Centenario	115
17	Análisis de variancia para el contenido de fibra cruda residual expresado en porcentaje, presente en el almidón aislado de los granos de Kiwicha variedad Centenario	123
18	Análisis de variancia para el contenido de ceniza residual en el almidón aislado de los granos de Kiwicha variedad Centenario	128
19	Análisis de variancia para el contenido de amilosa presente en el almidón aislado de los granos de Kiwicha variedad Centenario	134
20	Registros del Análisis de Conglomerado de la Variable índice de Blancura en la escala Hunter correspondiente a cada tratamiento	143
21	Registros del Análisis de Conglomerado de la Variable porcentaje de pureza correspondiente a cada tratamiento	145
22	Registros del Análisis de Conglomerado de la Variable Índice de Blancura en la escala CIE correspondiente a cada tratamiento	147

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Nº	Títulos	Pág.
1	Ilustración de la Semilla de <i>Amaranthus caudatus</i> L.	7
2	NC-AFM Imagen de un gránulo de almidón de papa (scan 14 x 14 um; diferencia de altura 0.7 um)	22
3	NC- AFM Imagen de la superficie de un gránulo de almidón de papa (scan 5 x 5um, diferencia de altura de 0.39um)	23
4	NC- AFM Imagen de la superficie de un gránulo de almidón de yuca (scan 2.5 x 2.5um, diferencia de altura de 105.7um)	23
5	NC- AFM Imagen de gránulos de almidón de cebada (scan 6 x 6um; diferencia de altura 0.56um)	24
6	NC - AFM Imagen de la superficie de un gránulo de almidón de cebada (scan 400 x 400um, diferencia de altura de 13.35um)	24
7	NC - AFM Imagen de un gránulo de almidón de maíz (scan 7 x 7um; diferencia de altura 1.99um)	25
8	NC - AFM Imagen de un gránulo de almidón de maíz céreo (scan 14 x 14um; diferencia de altura 4.12um)	25
9	NC - AFM Imagen de gránulos de almidón de trigo (scan 4 x 4um; diferencia de altura 0.27um)	26
10	NC - AFM Imagen de un gránulo de almidón de arroz (scan 5 x 5um; diferencia de altura 3.21um)	26
11	Esquema representativo de la conformación helicoidal del polímero de amilosa en solución, orientada hacia la izquierda.	27
12	Esquema de representación del complejo azul de amilosa yodo.	28
13	Estructura propuesta para la amilopectina de papa. 1= área compacta, 2= área menos compacta, rica en puntos de ramificación; ø = unidad reducida.	30
14	Diagrama esquemático de clusters de cadena lateral de amilopectina dentro de la micela.	30
15	Representación esquemática de los diferentes niveles estructurales del granulo de almidón que incluye a la amilosa y a la amilopectina.	33

16	Diagramas de difracción de rayos X de almidones tipos A, B y Vh.	35
17	Modelo muy esquemático para la amilopectina en el almidón nativo y la retrogradación del almidón. En el almidón nativo las dobles hélices están arregladas dentro de una delgada micela dominante (a). En el almidón retrogradado, las dobles hélices empiezan a formar pequeños clusters de cadenas lineales de glucanos $\alpha$ -(1→4) (b). Probablemente los clusters en las cadenas ordenadas adyacentes formen enlaces cruzados físicos entre las moléculas de amilosa (c).	41
18	Micro fotografías de almidón aislado de granos (A) <i>Amaranthus pumilus</i> y (B) <i>Amaranthus hypochondriacus</i> aumentadas 2500 veces. Barra representa 3.0 $\mu$ m	44
19	Micro fotografía de almidón aislado de granos <i>Amaranthus cruentus</i> . Barra representa 2.0 $\mu$ m	44
20	Espacio del Color Expresado en la Escala Hunter	48
21	Esquema de trabajo de la presente investigación	64
22	Flujo de operaciones para la obtención de almidón proveniente de granos de kiwicha variedad Centenario	67
23	Análisis granulométrico para la kiwicha variedad Centenario	82
24	Gráfica del efecto del porcentaje de la solución de NaOH durante el aislado de Almidón de Kiwicha expresado en rendimiento (%)	86
25	Gráfica del efecto del porcentaje de la solución Alcohol Etilico durante el aislado de Almidón de Kiwicha expresado en rendimiento	87
26	Gráfica del efecto del porcentaje de NaOH durante el aislado de Almidón de Kiwicha expresado en rendimiento	88
27	Gráfica del efecto del porcentaje de NaOH durante el aislado de Almidón de Kiwicha expresado en porcentaje de Pureza	95
28	Gráfica del efecto del porcentaje de Alcohol Etilico durante el aislado de Almidón de Kiwicha expresado en porcentaje de Pureza	96
29	Gráfica del efecto del porcentaje de la solución NaOH durante el aislado de Almidón de Kiwicha expresado en porcentaje de pureza	97

30	Gráfica del efecto del porcentaje de NaOH durante el aislado de Almidón de Kiwicha expresado en Índice de Blancura en la Escala Hunter	103
31	Gráfica del efecto del porcentaje de alcohol etílico durante el Aislado de Almidón de Kiwicha expresado en Índice de Blancura de la Escala Hunter	104
32	Gráfica del efecto del porcentaje de NaOH durante el aislado de Almidón de Kiwicha expresado en Índice de Blancura en la Escala Hunter	105
33	Gráfica del Efecto del porcentaje de NaOH durante el aislado de Almidón de Kiwicha expresado en porcentaje de Proteína Cruda (b. s.) presente en almidón aislado de kiwicha	110
34	Gráfica del efecto del porcentaje alcohol etílico durante el aislado de almidón de Kiwicha expresado como porcentaje de Proteína Cruda (b.s.) presente en el almidón aislado	111
35	Gráfica del efecto del porcentaje de NaOH durante el aislado de Almidón de Kiwicha expresado como porcentaje de Proteína Cruda (b. s.) presente en el almidón aislado	112
36	Gráfica del efecto del porcentaje de NaOH durante el aislado de Almidón de Kiwicha expresado como porcentaje de Grasa (b.s.) presente almidón aislado	116
37	Gráfica del efecto del porcentaje de alcohol etílico durante el aislado de almidón de Kiwicha expresado como porcentaje de Grasa (b.s.) presente almidón aislado	117
38	Gráfica del efecto del porcentaje de NaOH durante el aislado de Almidón de Kiwicha expresado como porcentaje de Grasa (b.s.) presente almidón aislado	119
39	Gráfica del efecto del porcentaje de NaOH durante el aislado de Almidón de Kiwicha expresado en (%) de Fibra Cruda (b.s.) presente en el almidón aislado	124
40	Gráfica del efecto del porcentaje de alcohol etílico durante el aislado de almidón de Kiwicha expresado como porcentaje de Fibra Cruda (b.s.) presente en el almidón aislado	125
41	Gráfica del efecto del porcentaje de NaOH durante el aislado de Almidón de Kiwicha expresado en (%) de Fibra Cruda (b.s.) presente almidón aislado	126

42	Gráfica del efecto del porcentaje de NaOH durante el aislado de Almidón de Kiwicha expresado como porcentaje de Ceniza (b.s.) presente en el almidón aislado	130
43	Gráfica del efecto del porcentaje de Alcohol Etílico durante el aislado de almidón de Kiwicha expresado como porcentaje de Ceniza (b.s.) presente almidón aislado	131
44	Gráfica del efecto del porcentaje de NaOH durante el aislado de Almidón de Kiwicha expresado como porcentaje de Ceniza (b.s.) presente almidón aislado	132
45	Gráfica del efecto del porcentaje de NaOH durante el aislado de almidón de Kiwicha expresado en (%) de Amilosa (b.s.) presente en el almidón aislado	135
46	Gráfica del efecto porcentaje de Alcohol Etílico durante el aislado de almidón de Kiwicha expresado como porcentaje de Amilosa (b.s.) presente en el almidón aislado	136
47	Gráfica del efecto del porcentaje de NaOH durante el aislado de Almidón de Kiwicha expresado como porcentaje de Amilosa (b.s.) presente en el almidón aislado	137
48	Clasificación del Índice de Blancura en la escala Hunter (expresado como porcentaje) del almidón de Kiwicha	142
49	Clasificación de registros de porcentaje de pureza del almidón aislado de Kiwicha	144
50	Clasificación del Índice de blancura en la escala CIE (expresado como porcentaje) del almidón de Kiwicha	146
51	Gráfica del efecto de la velocidad de corte en la determinación de viscosidad aparente de la pasta de almidón de Kiwicha variedad Centenario, durante 30 minutos.	149
52	Viscosidad de la pasta de almidón de Kiwicha variedad Centenario, spindle N 3, RPM 20	150
53	Claridad de Pastas de Almidón de kiwicha Almacenadas a dos temperaturas y medidas a 650 nm	152
54	Estabilidad, Congelación, Descongelación de Almidón Aislado de Granos de Kiwicha	154

55	Índice de Solubilidad de la Pasta de Almidón Aislado de Kiwicha	156
56	Índice de Poder de hinchamiento del Almidón Aislado de Kiwicha	156

## ÍNDICE DE FOTOS

Foto Nº	Títulos	Pág.
1	Cultivo experimental de <i>Amaranthus caudatus</i> L. en el Programa de Cereales de la UNALM	6
2	Balanza analítica y desecador	55
3	Mufla y estufa determinación para enfriado ceniza y humedad respectivamente	55
4	Sistema de destilación usado en la determinación de nitrógeno total	56
5	Equipo Soxhlet empleado en la Determinación de extracto etéreo	56
6	Ebullición de la solución usada en la determinación de azúcares reductores.	57
7	Lectura de Color de los Granos de Kiwicha variedad Centenario	58
8	Medición de la absorbancia a 600nm en la determinación de amilosa	59
9	Determinación de la viscosidad de la Pasta de almidón a 75°C empleando spindle 3	61
10	Decantación del molturado húmedo	68
11	Tamizado del moturado húmedo.	69
12	Centrifugación con solución de NaOH	70
13	Adición de agua de lavado para iniciar la segunda centrifugación	71
14	Secador de aire convectivo	72
15	Muestras envasadas en vidrio provenientes de los 18 tratamientos con dos repeticiones	73
16	Granos y harina integral de kiwicha variedad Centenario	77
17	Separación de fases luego de la centrifugación	84
18	Eliminación del sobrenadante y la fase oscura	84

19	Almidones recuperados de granos de kiwicha variedad Centenario con distintas soluciones de extracción	91
20	Tamices empleados durante el proceso de extracción del almidón de kiwicha. Números de mayor a menor apertura son: 60; 100; 140 y 200	121
21	Tamizado de la kiwicha molida en húmedo. Permittedose el paso de las partículas finas menores a 75µm. Retirando la fibra cruda.	122
22	Retenidos en el tamiz número 60 compuestos de partículas mayores a 250µm	122
23	Fibra cruda retenida, acumulada para su eliminación.	122

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Títulos	Pág.
A	Análisis granulométrico para 65 accesiones de kiwicha <i>Amaranthus caudatus</i> L.	176
B	Análisis estadístico de la variable Rendimiento	184
C	Análisis estadístico de la variable Pureza	185
D	Análisis estadístico de la variable Índice de blancura (expresado en porcentaje) en la escala Hunter	187
E	Análisis del contenido de la proteína cruda presente en el almidón aislado	189
F	Análisis del contenido de la grasa residual presente en el almidón aislado	192
G	Análisis del contenido de la fibra cruda residual presente en el almidón aislado	195
H	Análisis del contenido de la fibra cruda residual presente en el almidón aislado	198
I	Análisis del contenido de amilasa presente en el almidón aislado	201
J	Contenido de humedad presente en el almidón aislado	204
K	Análisis del efecto producido en las variables pureza, blancura Hunter y blancura CIE (expresadas como porcentaje) debido a las concentraciones residuales porcentuales de (proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, ceniza total) presentes en el almidón aislado de granos de kiwicha ( <i>Amaranthus caudatus</i> L.) variedad Centenario	205
L	Determinación de agrupamientos de los registros de las variables (expresadas en porcentaje) pureza, índice de blancura en las escalas HUNTER Y CIE	225