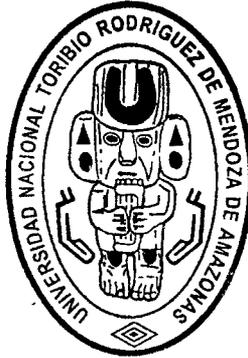


UNIVERSIDAD NACIONAL 23
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS



13 DIC 2012

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

INFLUENCIA DEL TIEMPO DE REACCIÓN, CONCENTRACIÓN DE
ALMIDÓN DE ACHIRA (*Canna edulis*) Y DE ENZIMA, SOBRE LA
OBTENCIÓN DE MALTODEXTRINAS.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

AUTORES:

Bach. OCAMPO MALQUI DEISY MARÍA
Bach. RAMOS CHÁVEZ JHINA VANESA

ASESOR:

MSc. ARMSTRONG BARNARD FERNÁNDEZ JERÍ

CHACHAPOYAS, PERÚ

2012

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
INFLUENCIA DEL TIEMPO DE REACCIÓN, CONCENTRACIÓN DE
ALMIDÓN DE ACHIRA (*Canna edulis*) Y DE ENZIMA, SOBRE LA
OBTENCIÓN DE MALTODEXTRINAS.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

AUTORES:

Bach. OCAMPO MALQUI DEISY MARÍA

Bach. RAMOS CHÁVEZ JHINA VANESA

ASESOR:

MSc. ARMSTRONG BARNARD FERNÁNDEZ JERÍ

CHACHAPOYAS – PERÚ

2012

DEDICATORIA

El presente trabajo le dedico a Dios por ser mi guía y darme fortaleza en cada paso de mi proceso formativo.

A mis padres por su inmenso amor, esfuerzo y apoyo que me brindan día a día.

A mis hermanos Cecilia y Jaime por apoyarme y motivarme para seguir adelante.

A mis grandes amigos y a todas aquellas personas quienes me apoyaron para lograr esta meta y me brindaron su amistad en todo momento.

Deisy María Ocampo Malqui

DEDICATORIA

A toda mi familia.

A mis padres, por su comprensión y ayuda en momentos difíciles. Me han enseñado a encarar las adversidades, me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño.

A mis hermanos, quienes siempre estuvieron conmigo para brindarme todo su apoyo, comprensión y cariño.

A mis amigos por brindarme su confianza, amistad y apoyo incondicional.

Jhina Vanesa Ramos Chávez

AGRADECIMIENTO

A Dios por darnos la dicha de estar en este mundo y poder cumplir nuestras metas.

A nuestros padres por su interés compartido por este trabajo, por acompañarnos siempre con una voz de ánimo y por su disposición de ayuda para poder lograr nuestra meta.

Al Ing. Armstrong B. Fernández Jerí por su paciencia, colaboración y asesoría permanente.

A los jefes y personal técnico de los laboratorios de Ingeniería y Tecnología Agroindustrial de la UNTRM, por facilitarnos los ambientes, equipos e insumos para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Jhina y Deisy

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL

TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

VICENTE MARINO CASTAÑEDA CHÁVEZ Ph.D.,Dr,Hab.

RECTOR

Dr. ROBERTO JOSÉ NERVI CHACÓN

VICERRECTOR ACADÉMICO (e)

Dr. EVER SALOME LAZARO BAZAN

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO (e)

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS

VISTO BUENO DEL ASESOR

El docente de la UNTRM – A que suscribe, hace constar que ha asesorado el proyecto y la realización de la tesis titulada INFLUENCIA DEL TIEMPO DE REACCIÓN, CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN DE ACHIRA (*Canna edulis*) Y ENZIMA SOBRE LA OBTENCIÓN DE MALTODEXTRINAS, presentado por las bachilleres Deisy María Ocampo Malqui y Jhina Vanesa Ramos Chávez, egresados de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias de la UNTRM – A, dando el visto bueno a la presente tesis.

Se expide la presente, a solicitud de los interesados, para fines que se estimen convenientes.



MSc. ARMSTRONG BARNARD FERNANDEZ JERÍ

JURADO EVALUADOR



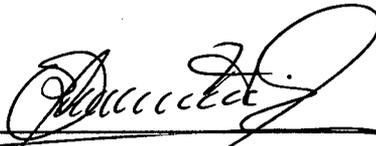
Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

PRESIDENTE



Ing. EFRAÍN MANUELITO CASTRO ALAYO

SECRETARIO



Ing. SEGUNDO VÍCTOR OLIVARES MUÑOZ

VOCAL

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	iii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	iv
Vo. Bo. DEL ASESOR	v
JURADO EVALUADOR	vi
INDICE GENERAL	vii
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
I. INTRODUCCIÓN	
1.1. Almidón	2
1.1.1. Almidón de achira	3
1.1.2. Composición química del almidón	4
1.1.3. Propiedades del almidón	6
1.1.4. Hidrólisis enzimática del almidón	8
1.1.4.1. Enzimas	9
1.1.4.2. Licuefacción	12
1.1.4.3. Maltodextrinas	13
1.2. Achira (<i>Canna edulis</i>)	16
1.2.1. Origen y distribución geográfica	16

1.2.2. Taxonomía	17
1.2.3. Diversidad genética	18
1.2.4. Composición de la achira	19
II. MATERIAL Y MÉTODOS	
2.1. Materia prima	20
2.2. Procedimiento experimental	20
2.2.1. Obtención del almidón	20
2.2.2. Obtención de maltodextrina	23
2.3. Evaluación de las características fisicoquímicas del almidón de achira	25
2.3.1. Humedad	25
2.3.2. Cenizas	25
2.3.3. Tiempo y temperatura de gelatinización	25
2.3.4. Capacidad de retención de agua	25
2.3.5. Solubilidad y factor de hinchamiento	25
2.4. Evaluación de las características fisicoquímicas de la maltodextrina	26
2.4.1. Humedad	26
2.4.2. Cenizas	26
2.4.3. °Brix	26
2.4.4. Viscosidad	26
2.4.5. Azúcares reductores y equivalente dextrosa	26
2.4.6. Capacidad de retención de agua	26
2.5. Análisis estadístico	27

III. RESULTADOS	
3.1. Propiedades físicas y químicas del almidón de achira (<i>Canna edulis</i>)	34
3.2. Propiedades físicas y químicas de la maltodextrina	35
IV. DISCUSIÓN	47
V. CONCLUSIÓN	52
VI. RECOMENDACIONES	54
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
ANEXOS	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de los rizomas de la achira (100 gramos)	19
Tabla 2. Clave de los diferentes tratamientos	33
Tabla 3. Valores promedio fisicoquímicos del almidón de achira	34
Tabla 4. Valores de propiedades del almidón de achira	34
Tabla 5. Valores promedio de parámetros fisicoquímicos de los diferentes tratamientos de maltodextrina	35
Tabla 6. Valores promedio de la viscosidad de la maltodextrina obtenida en os diferentes tratamientos	44
Tabla 7. Interpretación estadística	67
Tabla 8: Rendimiento de la maltodextrina obtenida en los diferentes tratamientos expresado en porcentaje	68
Tabla 9: Cenizas de la maltodextrina obtenida en los diferentes tratamientos	68
Tabla 10: Humedad de la maltodextrina obtenida en los diferentes tratamientos	69
Tabla 11: °Brix de la maltodextrina obtenida en los diferentes tratamientos	69
Tabla 12: Densidad de la maltodextrina obtenida en los diferentes tratamientos	70
Tabla 13: Equivalente dextrosa (DE) de la maltodextrina obtenida en los diferentes tratamientos	70
Tabla 14: Capacidad de retención de agua (CRA) de la maltodextrina obtenida en los diferentes tratamientos	71
Tabla 15: Viscosidad de la maltodextrina a 20°C obtenida en los diferentes tratamientos	72
Tabla 16: Viscosidad de la maltodextrina a 30 °C obtenida en los diferentes	

tratamientos	72
Tabla 17: Viscosidad de la maltodextrina a 40 °C obtenida en los diferentes tratamientos	73
Tabla 18: Viscosidad de la maltodextrina a 50 °C obtenida en los diferentes tratamientos	73
Tabla 19: Análisis de la Varianza para Rendimiento - Sumas de Cuadrados de Tipo III	74
Tabla 20: Contraste múltiple de rangos para Rendimiento según Concentración de almidón (%).	74
Tabla 21: Contraste Múltiple de Rangos para Rendimiento según Concentración de enzima (%).	75
Tabla 22: Contraste múltiple de rangos para Rendimiento según Tiempo de reacción (h)	76
Tabla 23: Medias por mínimos cuadrados para rendimiento (%) con intervalos de confianza 95.0 %, definido por la prueba de HSD Tukey	76
Tabla 24: Análisis de la Varianza para °Brix - Sumas de Cuadrados de Tipo III	78
Tabla 25: Contraste múltiple de rangos para °Brix según Concentración de almidón	78
Tabla 26: Contraste múltiple de rangos para °Brix según Concentración de Enzima	79
Tabla 27: Contraste múltiple de rangos para °Brix según Tiempo de reacción	79
Tabla 28: Medias por mínimos cuadrados para °Brix con intervalos de confianza 95.0 %, definido por la prueba de HSD Tukey	80
Tabla 29: Análisis de la Varianza para Equivalente dextrosa (DE) - Sumas	

de Cuadrados de Tipo III	82
Tabla 30: Contraste múltiple de rangos para Equivalente dextrosa (DE) según Concentración de almidón (%)	83
Tabla 31: Contraste múltiple de rangos para Equivalente dextrosa (DE) según Concentración de enzima (%)	83
Tabla 32: Contraste múltiple de rangos para Equivalente dextrosa (DE) según Tiempo de reacción (h)	84
Tabla 33: Medias por mínimos cuadrados para Equivalente dextrosa (DE) con intervalos de confianza 95.0 %, definido por la prueba de HSD Tukey	84
Tabla 34: Análisis de la Varianza para Capacidad de retención de agua – Sumas de Cuadrados de Tipo III	86
Tabla 35: Contraste múltiple de rangos para CRA según Concentración de almidón (%)	87
Tabla 36: Contraste múltiple de rangos para CRA según Concentración de enzima	87
Tabla 37: Contraste múltiple de rangos para CRA según Tiempo de reacción	88
Tabla 38: Medias por mínimos cuadrados para Capacidad de retención de agua con intervalos de confianza 95.0 %, definido por la prueba de HSD Tukey	88
Tabla 39: Análisis de la Varianza para Viscosidad (cp) a 20 °C - Sumas de Cuadrados de Tipo III	90
Tabla 40: Contraste múltiple de rangos para Viscosidad según Concentración de Almidón	91
Tabla 41: Contraste múltiple de rangos para Viscosidad según Concentración de Enzima	91

Tabla 42: Contraste múltiple de rangos para viscosidad según tiempo de reacción	92
Tabla 43: Medias por mínimos cuadrados para Viscosidad (cp) a 20 °C con intervalos de confianza 95.0 %, definido por la prueba de HSD Tukey	92
Tabla 44: Análisis de la varianza para viscosidad (cP) a 30 °C - Sumas de Cuadrados de Tipo III	94
Tabla 45: Contraste múltiple de rangos para viscosidad (Cp) a 30 °C según concentración de almidón	94
Tabla 46: Contraste múltiple de rangos para viscosidad (cp) a 30 °C según concentración de enzima	95
Tabla 47: Contraste múltiple de rangos para viscosidad a 30°C según tiempo de reacción	95
Tabla 48: Medias por mínimos cuadrados para viscosidad (cp) a 30 °C con intervalos de confianza 95.0 %, definido por la prueba de HSD Tukey	96
Tabla 49: Análisis de la Varianza para Viscosidad (cP) a 40 °C - Sumas de Cuadrados de Tipo III.	97
Tabla 50: Contraste Múltiple de Rangos para Viscosidad (cp) a 40 °C según Concentración de almidón	98
Tabla 51: Contraste Múltiple de Rangos para Viscosidad (cp) a 40 °C según Concentración de enzima (%)	98
Tabla 52: Contraste Múltiple de Rangos para Viscosidad 40 °C según Tiempo de reacción	99
Tabla 53: Medias por mínimos cuadrados para Viscosidad (cp) a 40 °C con intervalos de confianza 95.0 %, definido por la prueba de HSD Tukey	99
Tabla 54: Análisis de la varianza para Viscosidad (cP) a 50 °C - Sumas de	

Cuadrados de Tipo III	101
Tabla 55: Contraste múltiple de rangos para Viscosidad (cP) a 50 °C según Concentración de almidón (%)	101
Tabla 56: Contraste múltiple de rangos para Viscosidad (cP) a 50 °C según Concentración de enzima (%)	102
Tabla 57: Contraste múltiple de rangos para Viscosidad a 50 °C según Tiempo de reacción	102
Tabla 58: Medias por mínimos cuadrados para Viscosidad (cp) a 50 °C con intervalos de confianza 95.0 %, definido por la prueba de HSD Tukey	103

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura lineal y conformación helicoidal de la amilosa	5
Figura 2. Estructura de la molécula ramificada de amilopectina.	6
Figura 3. Estructura de la maltodextrina	15
Figura 4. Diagrama de flujo de extracción de almidón de achira	22
Figura 5. Diagrama de flujo de obtención de maltodextrina	24
Figura 6. Representación grafica de los valores promedio del rendimiento (%) de la maltodextrina	36
Figura 7. Rendimiento en función de la concentración del almidón (%) y concentración de enzima (%).	36
Figura 8. Rendimiento en función de la concentración del almidón (%) y tiempo de reacción (h).	37
Figura 9. Rendimiento en función de la concentración de enzima (%) y tiempo de reacción (h).	37
Figura 10. Representación gráfica de los valores promedio del ° Brix de la maltodextrina.	38
Figura 11. °Brix definido por la concentración de almidón (%) y tiempo de reacción (h).	38
Figura 12. °Brix definido por la concentración de almidón (%) y concentración de enzima (%).	39
Figura 13. Representación gráfica de los valores promedio de equivalente dextrosa (DE) de la maltodextrina.	39
Figura 14. Equivalente dextrosa (DE) definido por la concentración de almidón (%) y concentración de enzima (%).	40

Figura 16. Equivalente dextrosa (DE) definido por la concentración de almidón (%) y tiempo de reacción (h).	40
Figura 16. Equivalente dextrosa (DE) definido por la concentración de enzima (%) y tiempo de reacción (h).	41
Figura 17. Representación gráfica de los valores promedio de capacidad de retención de agua (CRA) de la maltodextrina.	41
Figura 18. Capacidad de retención de agua (CRA) definido por la concentración de almidón (%) y concentración de enzima (%).	42
Figura 19. Capacidad de retención de agua (CRA) definido por la concentración de almidón (%) y tiempo de reacción (h).	42
Figura 20. Capacidad de retención de agua (CRA) definido por la concentración de enzima (%) y tiempo de reacción (h).	43
Figura 21. Viscosidad promedio de la maltodextrina a 20 °C	44
Figura 22. Viscosidad promedio de la maltodextrina a 30 °C	45
Figura 23. Viscosidad promedio de la maltodextrina a 40 °C	46
Figura 24. Viscosidad promedio de la maltodextrina a 50 °C	46

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Métodos de evaluación de las propiedades funcionales del almidón de achira (canna edulis)	62
1.1. Humedad	62
1.2. Cenizas	62
1.3. Tiempo y temperatura de gelatinización	62
1.4. Capacidad de retención de agua (CRA)	63
1.5. Solubilidad (SOL) y Factor de hinchamiento (FH)	63
ANEXO 2: Métodos de análisis físico-químicos realizados en la maltodextrina	64
2.1. °Brix	64
2.2. Viscosidad	64
2.3. Azúcares reductores (AR) y Equivalente dextrosa (DE)	64
2.4. Capacidad de retención de agua (CRA)	65
ANEXO 3: Descripción de los diferentes tratamientos e interpretación estadística	66
ANEXO 4: Resultados de la evaluación fisicoquímica	68
ANEXO 5: Resultado del análisis estadístico de Rendimiento de la maltodextrina obtenido en los diferentes tratamientos, empleando Statgraphics 5.0 plus (Statistical Graphics System)	74
ANEXO 6: Resultado del análisis estadístico de °Brix de la maltodextrina obtenido en los diferentes tratamientos, empleando statgraphics 5.0 plus (Statistical Graphics System)	78

ANEXO 7: Resultado del análisis estadístico de Equivalente dextrosa de la maltodextrina obtenida en los diferentes tratamientos, empleando Statgraphics 5.0 plus (Statistical Graphics System)	82
ANEXO 8: Resultado del análisis estadístico de la Capacidad de retención de agua de la maltodextrina obtenida en los diferentes tratamientos, empleando Statgraphics 5.0 plus (Statistical Graphics System)	86
ANEXO 9: Resultado del análisis estadístico de la Viscosidad de la maltodextrina obtenida en los diferentes tratamientos, empleando Statgraphics 5.0 plus (Statistical Graphics System)	90
ANEXO 10: Fotos del desarrollo de la investigación	105

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la influencia del tiempo de reacción, concentración de almidón de achira (*Canna edulis*) y enzima sobre la obtención de maltodextrinas. La metodología experimental consistió en la recolección de las raíces de achira (*Canna edulis*), obtención del almidón que se caracterizó parcialmente para ser utilizado como materia prima en el proceso de hidrólisis enzimática, con diferentes concentraciones de almidón de achira (25%, 30%, 35%) , diferentes concentraciones de enzima alfa amilasa de *Bacillus licheniformis* (0,05%; 0,1%; 0,15%; 0,2%) y diferentes tiempos de reacción (1h, 2h). El diseño estadístico empleado para el análisis de los resultados fue del tipo factorial 3A x 4B x 2C, bajo un diseño completamente al azar (DCA), con tres repeticiones para evaluar equivalente dextrosa (ED), °brix, capacidad de retención de agua (CRA), cenizas, densidad y viscosidad; para el procesamiento de los datos se utilizó statgraphics 5.0 plus (Statistical Graphics System). Los tratamientos que presentaron las condiciones óptimas del proceso de licuefacción del almidón de achira fueron el T15 (concentración de almidón de 30%, concentración de enzima α -amilasa (Termamyl) de 0,2%) y tiempo de reacción de 1 hora) y T 7 (concentración de almidón de 25%, concentración de enzima α -amilasa (Termamyl) de 0.2% y tiempo de reacción de 1h), alcanzando un valor de Dextrosa Equivalente de 16,58% y 16,43% respectivamente; asimismo las demás características evaluadas para estos tratamientos muestran valores aceptables en relación a investigaciones realizadas con otros tipos de almidón (malanga, maíz, papa, plátano, yuca).

Palabras clave: *Canna edulis*, almidón, hidrólisis enzimática, maltodextrina.

ABSTRACT

The aim of this investigation was to evaluate the influence of reaction time, concentration of starch achira (*Canna edulis*) and enzyme on obtaining maltodextrins. The experimental methodology was to collect achira roots (*Canna edulis*), obtaining partially characterized starch to be used as feedstock in the process of enzymatic hydrolysis of starch with different concentrations of achira (25%, 30% , 35%), different concentrations of alpha amylase enzyme from *Bacillus licheniformis* (0.05%, 0.1%, 0.15%, 0.2%) and different reaction times (1h, 2h). The statistical design used for the analysis of the results was by factorial 3A x 4B x 2C, under a completely randomized design (CRD) with three replications to evaluate dextrose equivalent (DE), ° Brix, water holding capacity (CRA), ash, density and viscosity, for processing the data was used Statgraphics Plus 5.0 (Statistical Graphics System). The treatments presented optimum conditions of starch liquefaction process achira were T15 (starch concentration of 30% concentration of α -amylase enzyme (Termamyl) 0.2%) and reaction time 1 hour) and T 7 (starch concentration of 25% concentration of α -amylase enzyme (Termamyl) 0.2% and 1 h reaction time), to a dextrose equivalent value of 16.58% and 16.43% respectively, also the other characteristics evaluated for these treatments show acceptable values regarding research with other types of starch (taro, corn, potato, banana, cassava).

Keywords: *Canna edulis* starch, enzymatic hydrolysis, maltodextrin.

I. INTRODUCCIÓN

La achira (*Canna edulis*), es una planta de origen andino, en Argentina y Colombia se cultiva principalmente para la extracción del almidón de sus rizomas, el cual a su vez es utilizado como materia prima para la fabricación de los bizcochos, pan y otros productos, integrando la producción agrícola con las actividades de agroindustria. En nuestro país a pesar de contar con la disponibilidad de esta especie, su uso se limita al arte culinario. La producción de esta planta presenta requerimientos que no demandan costos altos, lo que hace rentable esta actividad (Caicedo, 1999).

En la actualidad se viene dando mayor importancia a la utilización de las enzimas en procesos industriales biotecnológicos en la medida que se requieren nuevos productos destinados a satisfacer necesidades y mercados altamente exigentes, aprovechando materias primas con características apropiadas, disponibles y económicas (Calcáneo, 1981).

En los últimos años, se ha realizado una serie de investigaciones sobre el almidón de achira (*Canna edulis*), el cual es una fuente alternativa para la producción de maltodextrinas, jarabes de glucosa, entre otros, los cuales son obtenidos mediante procesos de hidrólisis (Corpoica, 2003).

Por ello se ha visto la necesidad de estudiar el desarrollo de alternativas para la producción de hidrolizados enzimáticos, en este caso maltodextrina, que tiene una gran variedad de aplicaciones en la industria alimenticia y farmacéutica, siendo utilizada como estabilizantes, espesantes, encapsulantes y reemplazante de grasas y aceites. Para establecer un proceso para producción industrial, es necesario realizar el estudio en condiciones y parámetros adecuados.

1.1 Almidón

El almidón es el principal polisacárido de reserva de las plantas, el cual se encuentra en cereales, leguminosas y tubérculos, en los cuales se utiliza como fuente de energía durante periodos de dormancia, estrés o reinicio del crecimiento.

La forma, el tamaño, la estructura y la composición química de los gránulos son características que afectan las propiedades funcionales del almidón y la variación de estas características depende de la especie de la que se ha obtenido.

El almidón está constituido principalmente por polímeros de α -D glucosa, azúcar de seis carbonos, que en forma anillada se le conoce como D-glucopiranososa, ésta se une mediante enlaces glucosídicos, principalmente en presencia de agua. Al condensarse una molécula de agua se forma un enlace de puente de hidrogeno, esta condensación sucede principalmente entre los carbonos 1 y 4 o puede ocurrir en los carbonos 1 y 6. Estos enlaces tienen configuración α , lo cual propicia la formación de estructuras helicoidales (Buléon *et al.*, 1998; Thomas y Atwell, 1999).

El almidón es una mezcla de dos polímeros: la amilosa, que es la lineal, y la amilopectina que es ramificada. (Ceballos y De la cruz, 2002)

Al calentar la suspensión de almidón, las moléculas vibran rigurosamente, rompiendo enlaces intramoleculares, permitiendo así la formación de puentes de hidrógeno con el agua, lo cual origina una serie de modificaciones irreversibles a partir de una temperatura que es característica para cada almidón (Luna y Mera, 2006).

1.1.1 Almidón de Achira

El almidón de achira constituye una gran fuente de materias primas para variadas industrias, las cuales van desde los pegamentos hasta el área de los alimentos.

En las evaluaciones realizadas por Corpoica se ha encontrado que el rendimiento de almidón por rizoma puede variar entre 6 y 14 % dependiendo del estado del cultivo, del tiempo transcurrido entre la cosecha y la extracción (en lo posible debe ser menor de 2 días) y de la eficiencia del rallado y tamizado (Torres, 1999).

El almidón obtenido de la achira es de alta calidad y presenta algunas características como el tamaño del gránulo, la brillantez, el contenido de pega, que le otorgan ventajas comparativas con respecto a los almidones obtenidos de otros productos como la yuca, la papa, etc.

El almidón se utiliza en panificación para pan de dulce, galletas, bizcochuelos, moncaibas, tortas, helados de frutas. A nivel industrial, se usa para la tapioca, los refrescos solubles y los preparados alimenticios. El almidón también tiene un reconocido valor medicinal, con poder terapéutico para curar enfermedades en la piel producidas por hongos, como la erisipela (Barrera, *et al*, 2004).

1.1.2. Composición química del almidón

El almidón es un carbohidrato altamente polimerizado cuyo monómero es la glucosa. El principal problema de la química del almidón ha sido la determinación de la naturaleza y el número de uniones entre unidades constituidas por los monómeros y su distribución en la estructura del almidón.

Los gránulos de almidón están compuestos por capas externas de amilopectina y capas internas de amilosa, cuya proporción es variable dependiendo de la fuente del almidón.

La amilosa es el componente que contribuye a las características de gelatinización o retrogradación, mientras que la amilopectina es responsable del hinchamiento y viscosidad del almidón. Durante el hinchamiento de los gránulos, los puentes de hidrógeno entre las cadenas de almidón se disocian y son reemplazadas con puentes de hidrógeno de las moléculas de agua, lo cual incrementa la viscosidad (Srichuwong y Jane, 2007).

El almidón encuentra una gran variedad de aplicaciones en diversos campos de la industria alimentaria, farmacéutica, industria papelera, etc., la capacidad que tiene el almidón de formar pastas es la propiedad más explotada industrialmente. Se aplica en la elaboración de una gran variedad de productos con objeto de mejorar su textura e incrementar su estabilidad, dado que su incorporación incrementa y favorece la estabilidad de las dispersiones al retardar la separación de las fases. También se utiliza en la elaboración de jarabes, obtención de dextrinas, maltodextrinas, ciclodextrinas. Adicionalmente

se utiliza como estabilizante y espesante en la elaboración de gelatinas, helados, sopas, salsas, etc. debido a que incrementa la esponjosidad, mejora la textura e imparte el color. (Guizar, 2009)

a) **Amilosa:** Se compone de cadenas de restos de α -D-glucopiranosilo unidas por enlaces α (1-4), haciendo largas cadenas lineales ligeramente ramificadas mediante enlaces glucosídicos α (1-6). La conformación de la amilosa es helicoidal tridimensional, en cada vuelta de la hélice hay seis unidades de anhidro glucosa (UAG). El interior de la hélice es lipofílico, mientras que su exterior es hidrofílico, permitiendo la formación de complejos con otros compuestos (Curá *et al*, 1995).

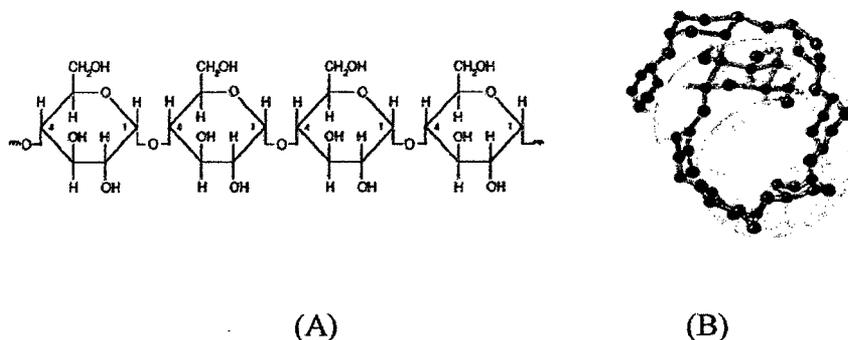


Figura 1. (A): Estructura lineal de la amilosa; (B): conformación helicoidal de la amilosa propuesta por Myers *et al.* 2000.

b) **Amilopectina:** Es el componente ramificado del almidón, está formada por cadenas de residuos α -D-glucopiranosas unidos por enlaces α -(1-4), presenta enlaces α -(1-6) en los puntos de ramificación, los cuales representan un 5-6 % de los enlaces totales (Buleón *et al.*, 1998).

La amilopectina es el componente mayoritario del almidón, se encuentra en una proporción de 70-80%, su estructura, composición y proporción en el gránulo contribuyen notablemente en las propiedades funcionales del almidón, por esta razón, ha sido estudiada ampliamente en términos de su tamaño molecular, ramificación y longitud de las cadenas internas y externas (Bello-Pérez et al., 2002).

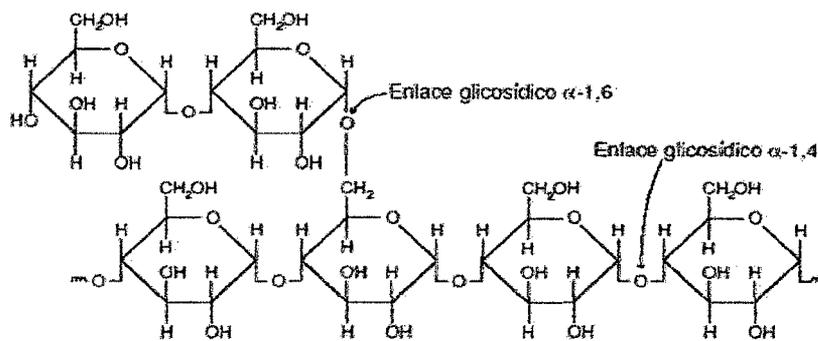


Figura 2. Estructura de la molécula ramificada de amilopectina.

1.1.3. Propiedades del almidón

a. Gelatinización

La ruptura de la estructura granular, el hinchamiento y la hidratación, y la solubilización de las moléculas de almidón, en conjunto, constituyen la gelatinización, proceso endotérmico que ocurre por encima de 55-70°C, Si se prolonga el tratamiento hidrotérmico, puede surgir una ruptura de los gránulos, hidrólisis parcial y disolución más o menos completa de las moléculas constituyentes, lo que origina una disminución en la viscosidad (Villagra, 2010).

La prolongación del calentamiento es la responsable de la ruptura de los puentes de hidrógeno de la red cristalina, produciendo la hidratación completa de los gránulos de almidón, la dispersión de la amilosa y la formación de un sol coloidal que contiene los gránulos de almidón intactos, hidratados y suspendidos.

El rango de gelatinización (temperatura a la que se produce el hinchamiento completo de los gránulos) depende del origen del vegetal y el tamaño de los gránulos. Entre más grandes son los granos, tienden a hincharse a menores temperaturas, variando en los diferentes almidones, los cambios en la viscosidad durante el calentamiento. (Villagra, 2010).

b. Gelificación y retrogradación

Gelificación: Ocurre cuando la solución del almidón gelatinizado se enfría rápidamente en la que las moléculas de amilosa exudada de los gránulos hinchados, tienden a asociarse a través de la formación de puentes de hidrógeno estables con otras moléculas de amilosa adyacentes (dispersas), resultado de ello son geles formados que se hacen progresivamente más fuertes, aumenta la claridad, se restringe el movimiento y aumenta la viscosidad. (Villagra, 2010).

Retrogradación: Cuando el almidón permanece a temperatura ambiente o a temperaturas más bajas, la retrogradación puede ser atenuada por la adición, a la suspensión, de agentes que induzcan el hinchamiento o manteniendo la temperatura de la suspensión por encima de la temperatura ambiente.

1.1.4. Hidrólisis enzimática del almidón

El almidón bajo la acción de las amilasas, puede tener sus moléculas fraccionadas o agrupadas. Las reacciones químicas que ocurren bajo la actividad de estas enzimas dependen del pH del medio, la temperatura, el sustrato, el tipo específico de enzima, etc.

La hidrólisis enzimática es el proceso que tiene por objetivo la transformación del almidón de las materias primas amiláceas en azúcares. Dicha transformación es catalizada por enzimas cuya función es romper las moléculas del almidón.

La hidrólisis del almidón es una vía sencilla para producir carbohidratos con propiedades funcionales específicas. Debido a los avances biotecnológicos, existen enzimas que permiten una producción controlada y alto rendimiento de productos derivados de la hidrólisis del almidón, como son maltodextrinas, jarabes de glucosa y jarabes con alto contenido de fructosa (Estrada, A et al, 2009).

Las enzimas son catalizadores ideales para la industria alimentaria debido a su eficiencia, acción específica, su alta purificación y estandarización. En los últimos años, se ha realizado la hidrólisis enzimática de almidón para la obtención de maltodextrinas y jarabes a nivel industrial, ya que se producen jarabes de mayor calidad, pues se tiene un control de la reacción, mayor especificidad de los productos obtenidos, menores requerimientos energéticos y

la ausencia de sabores indeseables, lo cual ha desplazado a la hidrólisis ácida que era utilizada anteriormente. (López-Munguía, 2002).

Los principales productos de la hidrólisis del almidón son D-glucosa, maltosa, un conjunto de oligosacáridos y polisacáridos. El rango de los productos de hidrólisis se describe en términos de equivalentes de dextrosa (DE), un valor que indica el poder reductor del conjunto de azúcares presentes en la mezcla, relativo al de la glucosa, a la que se asigna un valor de 100 y que se refiere a peso seco. Cuanto mayor sea el valor DE de la mezcla de hidrólisis más intensa habrá sido la fragmentación del polímero de almidón. Los productos de la hidrólisis del almidón con DE menores de 20 reciben el nombre de maltodextrinas. (Vidal, 2009)

1.1.4.1 Enzimas

En todos los procesos vitales están implicadas las enzimas ya que las actividades que desempeñan son sumamente importantes y de una diversidad tal que van desde el mantenimiento de la vida y su propagación hasta la utilización de recursos naturales, la obtención de alimentos, la producción de medicamentos, el tratamiento de residuos domésticos e industriales y otras aplicaciones en muy diversos campos.

Las enzimas son proteínas que actúan como catalizadores, se utiliza en la industria alimentaria debido a su eficiencia, acción específica, alta purificación y estandarización. Las condiciones de operación están limitadas por las

propiedades de cada una de ellas ya que cada enzima actúa en condiciones de pH y temperaturas específicas.

Las fuentes más comunes para la preparación de las enzimas son: el páncreas, la malta, ciertas especies de hongos y bacterias. Las amilasas tienen la función de catalizador en las reacciones que modifican la molécula de almidón.

Existen básicamente cuatro grupos de enzimas que transforman el almidón y comercialmente se emplean en la industria alimentaria:

- Endoamilasas: Actúan sobre los enlaces α -(1,4). En este grupo está la α -amilasa.
- Exoamilasas: Actúan en forma externa sobre las cadenas de almidón. Tenemos a la amiloglucosidasa, β -amilasa.
- Enzimas desramificantes: Hidrolizan los enlaces α -(1,6). Tenemos a la isoamilasa y pululanasa.
- Isomerasas: Realiza la conversión de glucosa a fructosa. En este grupo está la glucosa isomerasa.

❖ α - Amilasa (α -1,4-D-glucan- hidrolasa)

Las α – amilasas provienen de un número de diferentes fuentes microbianas y son usadas ampliamente en la industria del almidón. Las más importantes de estas son: *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformes* y *Aspergillus oryzae*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas*, *Cephalosporium*, entre otros.

Cataliza la hidrólisis de los enlaces α (1,4) glucosídicos de la región central de la cadena de amilosa y amilopectina, exceptuando las moléculas cercanas a la ramificación.

La α -amilasas pueden ser obtenidas de distintas fuentes y el grado de hidrólisis que presentan sobre la molécula de almidón y los productos que se forman depende de su procedencia. La α -amilasas son enzimas dependientes de calcio.

Presentan un peso molecular de 50 000 Daltons, es estable a pH de 5.5 -8.0; con una actividad optima de 5.9. La enzima α – amilasa es denominada enzima licuante, debido a su rápida acción para disminuir la viscosidad de las soluciones de almidón (Calcáneo, 1981).

La α – amilasa de *Bacillus licheniformes* (endo amilasa) es considerada la más termoresistente y puede ser usada a temperaturas sobre los 110 °C, es conocida como Termamyl. Estas enzimas hidrolizan al azar los enlaces (1-4) α -glucosídicos en amilosa y amilopectina (Calcáneo, 1981). El requerimiento de calcio para la estabilización de la enzima es de 50 – 70 ppm de Ca^{2+} .

La inactivación de α – amilasa tanto de *Bacillus subtilis* y *Bacillus licheniformis* se logra incrementando la temperatura a 115°C de 10 a 20 min o bajando el pH a 3-4 con ácido sulfúrico o ácido clorhídrico (Calcáneo, 1981).

β -amilasa (1,4-alfa -glucan- maltotriosa): Rompe o separa las unidades de maltosa de los extremos no reductores de las cadenas de almidón. Su acción es progresiva y cesa cuando alcanza una ramificación, ya que no puede hidrolizar los enlaces alfa (1,6), dando lugar a la formación de dextrinas limitantes.

Glucoamilasa, amiloglucosidasa (Exo- 1,4 - alfa - glucosidasa o 1,4 - alfa-glucan - glucohidrolasa): Hidroliza solamente los extremos no reductores del almidón, glucógeno, dextrinas y maltosa. La glucoamilasa, además de hidrolizar uniones alfa - 1,4; rompe también lentamente uniones alfa -1,3 (Durango, 2009).

❖ **Papel del calcio en la hidrólisis enzimática**

Los iones metálicos son esenciales o actúan como activadores para un número de enzimas hidrolíticas. Los iones de calcio son una forma estructural de muchas α - amilasas. La más reciente proposición sobre la función de estos iones, es q son requeridos para mantener la molécula proteica en su propia conformación para la actividad (Calcáneo, 1981).

1.1.4.2 Licuefacción

En el proceso de licuefacción, la solución de almidón en agua a altas concentraciones (hasta un 45%) es calentada para realizar la gelatinización, por lo que se utiliza una α -amilasa termo-resistente que permite que se efectúen la gelatinización y la licuefacción de manera simultánea. La alta temperatura y la fuerza mecánica permiten una rápida gelatinización.

Este proceso generalmente se lleva a cabo con agitación y a una temperatura de 80 a 120 °C, de acuerdo a la fuente de almidón de que se trate. Posteriormente, la temperatura se disminuye entre 70 y 90 °C para adicionar la α -amilasa. La reacción se realiza durante un periodo de 90 a 120 minutos. El hidrolizado obtenido contiene como principales productos, maltosas y maltotriosas, además de α -dextrinas. Finalmente, se realiza una centrifugación para separar el almidón no hidrolizado (Aguilar, 2008).

1.1.4.3 Maltodextrinas

Las maltodextrinas se definen como los productos de la hidrólisis parcial del almidón, las cuales son comúnmente caracterizadas por su grado de hidrólisis, expresado como DE, con valores menores a 20, obtenidos de almidones de diferente origen. Las maltodextrinas son carbohidratos fácilmente digeribles con el uso de ácido y/o enzimas que rompen el almidón en polímeros pequeños (Aguilar, 2008).

Al contrario que el almidón, las maltodextrinas son totalmente solubles en agua. Desde hace años atrás las maltodextrinas se usan como aditivos alimentarios porque, en cierta medida, pueden sustituir a las grasas en la preparación de alimentos con menos calorías. Como resultado de la digestión del almidón, las maltodextrinas contienen amilosa lineal y amilopectina ramificada. Por lo tanto, las maltodextrinas se consideran polímeros de glucosa en los que las unidades se unen por enlaces α -1,4 dando cadenas lineales (amilosa), con un grado

variable de oligosacáridos en los que las cadenas de glucosa se unen a la rama principal por enlaces 1-6 (amilopectina) (Vidal, 2009).

Las maltodextrinas se clasifican en base a su contenido de azúcares reductores directos, expresado en equivalentes de dextrosa (DE) que se define como el grado de hidrólisis de la molécula de almidón. Las maltodextrinas tienen una gran variedad de aplicaciones, principalmente en la industria alimenticia y farmacéutica donde funcionan como: agentes estabilizantes, espesantes, extensores, reemplazadores de grasas y aceites en aderezos para ensaladas, encapsulantes, etc. (Cortés, 2008).

Metabolismo de las maltodextrinas

Como las maltodextrinas están formadas por cantidades variables de amilosa lineal y amilopectina ramificada, las maltodextrinas en preparados nutritivos y fármacos seguirán el mismo esquema de digestión y degradación que del almidón. Obviamente, cuanto mayor sea la cantidad de maltodextrina en un preparado nutricional y mayor la proporción de amilosa lineal tanto mayor será su contribución a la glucosa en sangre (Vidal, 2009).

Las maltodextrinas son clasificadas dependiendo de su equivalencia en dextrosa (ED), es decir, el grado de polimerización (GP) o su poder reductor. Las maltodextrinas de menor ED (<20) son higroscópicas, y las de mayor ED (entre 20 y 60) tienden a absorber humedad; además, usadas como aditivo alimenticio son moderadamente dulces.

Este oligosacárido es de alta solubilidad por su gran número de grupos OH los cuales le permiten formar puentes de hidrógeno con las moléculas de agua, hidratándose y formando moléculas esféricas al mezclarse. A menudo estas moléculas esféricas establecen contacto entre ellas y dan, incluso en soluciones muy diluidas, una viscosidad considerablemente superior a la del agua sola; por consiguiente, al aumentar la concentración de oligosacáridos debería obtenerse un rápido incremento de la viscosidad; no obstante, para moléculas de polisacáridos fuertemente ramificados, el volumen hidratado ocupado es más pequeño que el resultante de un polisacárido totalmente lineal o poco ramificado, favoreciendo una menor viscosidad para los polisacáridos muy ramificados.

La maltodextrina debido a su gran número de ramificaciones, adquiere una forma helicoidal de tamaño pequeño logrando volúmenes más pequeños, dando como resultado una mínima viscosidad; esto brinda la posibilidad de adicionar buenas cantidades de maltodextrinas logrando un aumento en grados Brix sin afectar de manera relevante la viscosidad final en la mezcla.

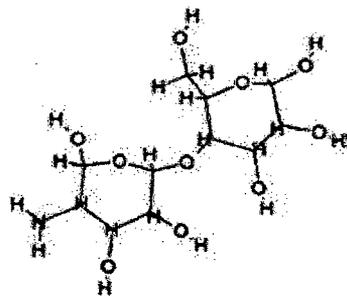


Figura 3. Estructura de la maltodextrina, propuesta por López, et al. 2009

1.2. Achira (*Canna edulis*)

La achira es una planta que se utiliza en la alimentación humana y animal, principalmente para la producción de almidón industrial y preparación de fideos, galletas, etc. Las raíces se pueden consumir asadas o cocidas. (Moreno, 2006).

1.2.1. Origen y distribución geográfica

Es una planta originaria de los Andes y forma parte de las 25 raíces y tubérculos andinos de consumo regional y mundial, ha servido de alimento a muchas familias durante siglos. Es una planta perenne que alcanza hasta 2 m de alto, con hojas amplias, ovales y flores rojas muy vistosas, además de producir rizomas (Caicedo, 1999).

La achira es cultivada en diversos países (Colombia, Brasil, Perú, Bolivia, India, Asia, Polinesia, y África), tradicionalmente ha sido un cultivo de minifundio y de huerto familiar para obtener harina para el autoconsumo. (Caicedo, 1999).

La achira se puede cultivar desde el nivel del mar hasta los 2 700 msnm, obteniéndose rendimientos óptimos entre los 800 y 1 850 msnm, requiere temperaturas tropicales, áreas libres de heladas durante el periodo de maduración de los rizomas, se desarrolla desde los 9 hasta los 30 - 32 °C. En cuanto a precipitación, requiere de lluvias moderadas y bien distribuidas; resiste periodos de sequía; la excesiva humedad causa un desarrollo anormal del follaje y de los rizomas, presentándose pudrición general de la planta. El requerimiento de agua durante el periodo vegetativo es de 800 a 1 120 mm.

En la Región Amazonas, el crecimiento de la achira es de forma natural, encontrándose en los huertos familiares y distribuidos en diferentes localidades: Colcamar, Chachapoyas, Luya, huancas, Levanto, Maino, entre otras, ya que presentan altitud y clima adecuados para su crecimiento.

1.2.2. Taxonomía

La achira pertenece a la familia de las Cannáceas, a continuación presentamos su clasificación botánica, Según Rodríguez, *et al.* 2003:

Nombre común..... Achira, sagu, atchera, achira, luano, chiri.
Especie..... *Canna edulis*
Reino..... Vegetal
Orden..... Scitamidales
Clase..... Monocotiledóneas
División..... Angiospermae
Subreino..... fanerógamas
Familia..... Cannaceae
Género..... *Canna*

Presenta las siguientes características generales: Rizomas abundantes, esféricos, cilíndricos o en forma de trompo, miden de 5 a 20 cm de largo por 3 a 12 cm de ancho. En su superficie presentan surcos transversales que marcan la base de las escamas que los cubren; de la parte inferior del rizoma salen generalmente las

raicillas blancas y cilíndricas y del ápice el pseudotallo, las hojas y el vástago floral.

Los tallos son de 0.40 a 2.5 metros de altura, están cubiertos por las vainas envolventes de las hojas; los peciolo son generalmente oblongos, ovaes, oblongo elípticos de 0 a 70 cm de largo y de 5 a 30 cm de ancho. Las flores tienen racimos laxos, simples o bifurcados de color amarillo, rojo; son rojas por dentro y por fuera anaranjadas. Los frutos son cápsulas de tres celdas con semillas esféricas de color negro. (Caicedo, 1999)

1.2.3. Diversidad genética

Se conocen tres variedades de achira:

Yunga: Es la que produce más cantidad de rizomas y mejor harina.

Morada: No se distingue de la anterior en la mata sino en el rizoma, tiene una coloración un tanto morado en el “cogollo” y al abrirla se puede observar una coloración azul.

Negra: Es propio de lugares más fríos, no se cultiva para el aprovechamiento del rizoma que es escaso, sino por la hoja, la cual es un poco más oscura que la de las dos anteriores

1.2.4 Composición de la achira

En la siguiente tabla se indica la composición de los rizomas de Achira.

Tabla 1. Composición química del rizoma de achira (100 gramos)

Componente	Cantidad
Valor energético(cal)	130
Humedad (%)	66,30
Proteína (%)	0,90
Grasa (%)	0,10
Carbohidratos totales (%)	31,30
Fibra (%)	0,50
Cenizas (%)	0,90
Calcio (mg)	15
Fosforo (mg)	63
Hierro (mg)	63
Tiamina (mg)	0,03
Riboflavina (mg)	0,01
Niacina (mg)	0,40
Ácido ascórbico	7

Fuente: Idrovo, 2010

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Materia prima

Como materia prima de investigación se utilizó *Canna edulis* "achira", la cual fue obtenida de la localidad de Colcamar, Región Amazonas; para la selección se tomó en cuenta la edad de la planta (10 meses).

2.2. Procedimiento experimental

El procedimiento para la obtención del almidón de achira se muestra en la Figura 4, cuyas etapas se detallan a continuación:

2.2.1. Obtención del almidón

- **Materia prima:** Está conformada por rizomas de achira en buen estado.
- **Recepción:** Se utilizaron rizomas que presentaron las mejores condiciones, libre de magulladuras, enfermedades y partes en estado de descomposición.
- **Lavado:** Los rizomas se sometieron al lavado con abundante agua para eliminar restos de tierra y compuestos que dan mala presentación al producto.
- **Pesado:** Los rizomas de achira se pesaron en una balanza para evaluar el rendimiento.
- **Pelado:** Se realizó de forma manual para eliminar la cáscara y las impurezas que hayan quedado después del lavado.

- **Rallado:** Se realizó con la ayuda de un rallador hasta obtener una masa muy fina. Además se utilizó una solución de ácido cítrico (30g/100L de agua) en el recipiente donde se recibió la masa.
- **Tamizado:** Utilizando tamices 0,2 mm de diámetro se procedió a separar el sólido (afrecho) de la solución de almidón.
- **Lavado:** Se efectuó después de un tiempo de 18 a 24 horas del tamizado, en esta etapa se utilizó una solución de ácido cítrico (100g/100L agua), se realizaron por 3 o 4 veces.
- **Secado:** Se realizó a una temperatura de 55°C durante 24 horas, hasta alcanzar una humedad de 11 a 15%.

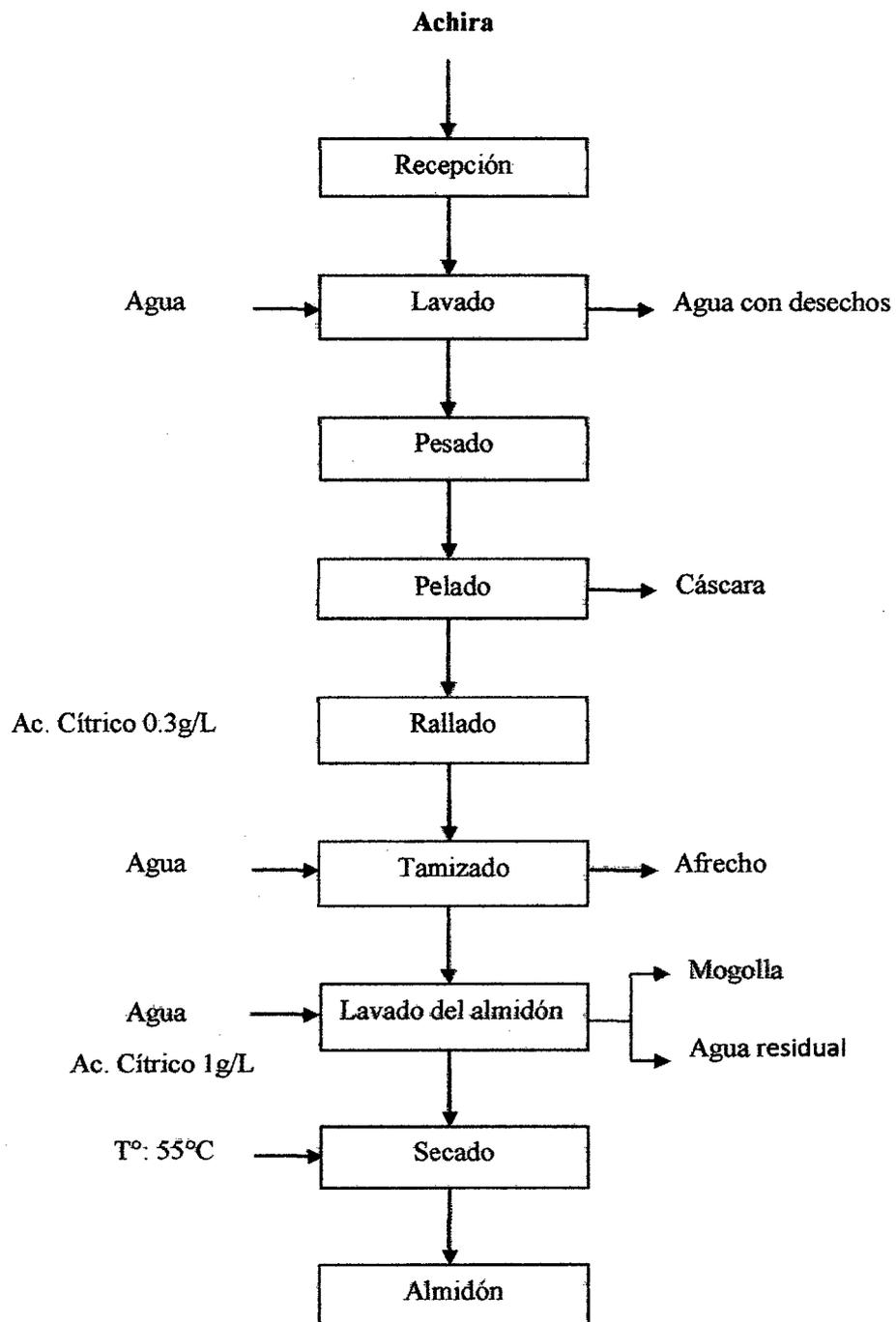


Figura 4. Diagrama de flujo para extracción de almidón de achira

2.2.2. Obtención de maltodextrina

- **Preparación de la muestra:** Se preparó 200 ml de solución de almidón, de acuerdo a las diferentes concentraciones propuestas para el estudio.
- **Acondicionamiento:** Se brindó las condiciones apropiadas para actividad de la enzima. Se adicionó Cloruro de calcio (CaCl_2) al 0.14 %; y se ajustó el pH de 6.4 a 6.5 utilizando Hidróxido de sodio (0.1 N). Posteriormente se calentó de 65 a 70°C, y se adicionó la enzima Termamyl.
- **Calentamiento:** Se calentaron las muestras a temperaturas de 85 a 90 °C, para realizar el proceso de hidrólisis, durante los tiempos establecidos para el estudio (1h y 2h).
- **Inactivación:** Pasado el tiempo de hidrólisis, se procede a la inactivación, bajando el pH de 3 a 4 con Ácido clorhídrico (HCl al 0.1 M). Se enfrió las muestras a temperatura ambiente.
- **Centrifugación:** Se colocaron las muestras en los tubos de centrifuga, y se procedió a realizar la operación a 5000 rpm x 5 minutos.
- **Secado:** Se realizó en la estufa, a temperatura de 70 °C por 5 horas aproximadamente, hasta llegar a una humedad máxima de 6%.
- **Molido y Tamizado:** Se realizó el molido con ayuda de un mortero; las muestras estuvieron embolsadas y con fuentes de calor (cocinas eléctricas) cercanas para evitar que absorban humedad.

- **Envasado:** El envasado se realizó en bolsas plásticas. Cada muestra rotulada respectivamente.

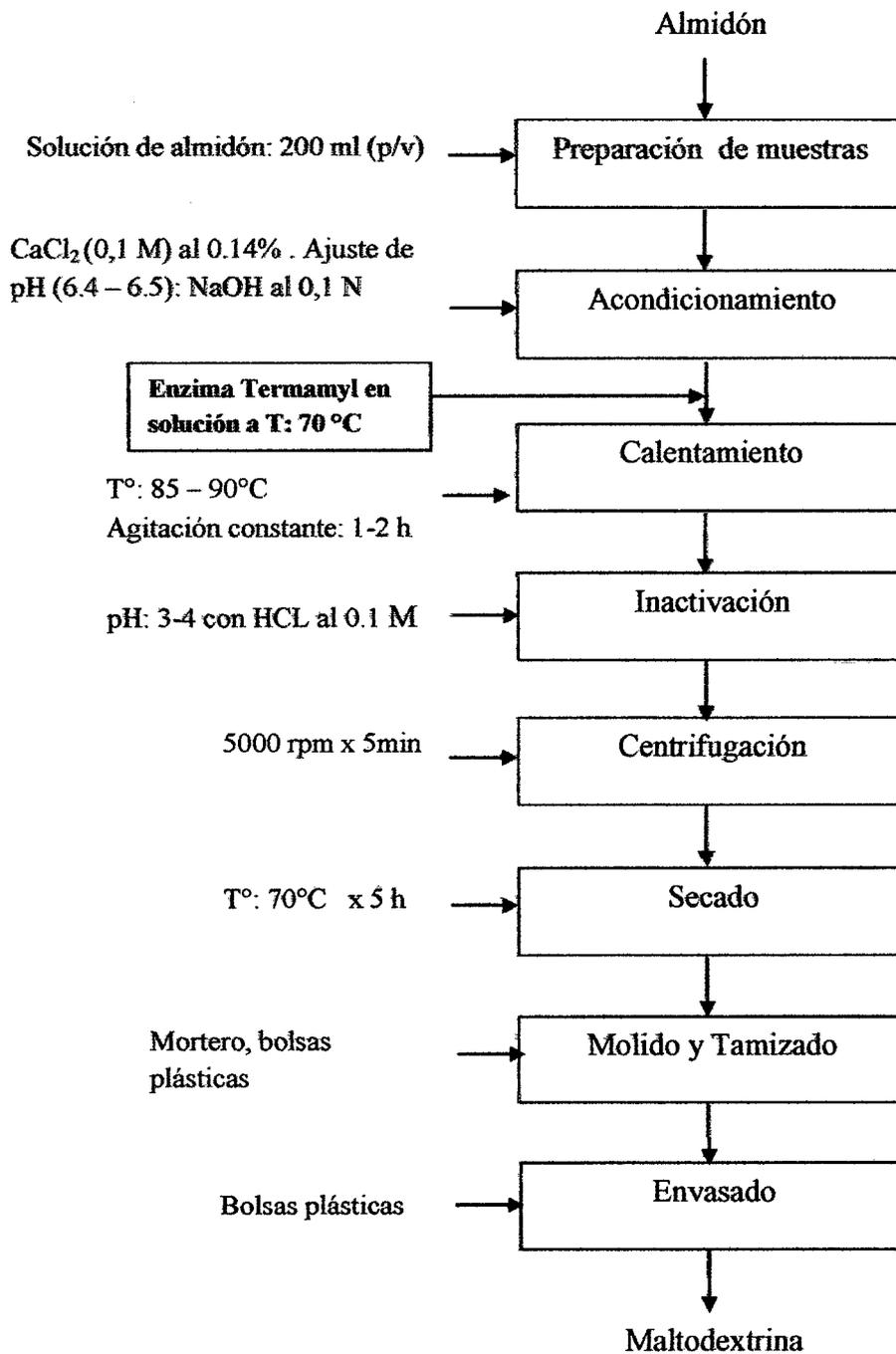


Figura 5. Diagrama de flujo de obtención de maltodextrina

2.3 Evaluación de las características fisicoquímicas del almidón de achira

2.3.1 Humedad: Este parámetro se evaluó mediante el método propuesto por Nollet (1996), en la que se utiliza una termobalanza y existen mínimos errores en los resultados, mostrado en el anexo 1.1

2.3.2 Cenizas: Para evaluar el contenido de cenizas de la maltodextrina obtenida del almidón de achira se utilizó el método descrito por AOAC (2000), en la que se puede estimar el contenido de metales, sales, elementos traza, mostrado en el anexo 1.2

2.3.3 Tiempo y temperatura de gelatinización: Para determinar el tiempo y la temperatura de gelatinización del almidón de “achira”, se determinó según el método descrito por Narayana y Narasinga-Rao (1982), adaptado a condiciones del laboratorio de tecnología, mostrado en el anexo 1.3

2.3.4 Capacidad de retención de agua: Para determinar esta propiedad se utilizó el método propuesto por Bryant y Hamaker (1997), adaptado a las condiciones del laboratorio, mostrado en el anexo 1.4

2.3.5 Solubilidad y Factor de hinchamiento: Para determinar estas propiedades se utilizó el método descrito por Crosbie (1991), mostrado en el anexo 1.5

2.4 Evaluación de las características fisicoquímicas de la maltodextrina

2.4.1 Humedad: Este parámetro se evaluó mediante el método propuesto por Nollet (1996), en la que se utiliza una termobalanza y existen mínimos errores en los resultados, mostrado en el anexo 1.1

2.4.2 Cenizas: Para evaluar el contenido de cenizas de la maltodextrina obtenida del almidón de achira se utilizó el método descrito por AOAC (2000), en la que se puede estimar el contenido de metales, sales, elementos traza, mostrado en el anexo 1.2

2.4.3 Brix: Se determinó con un refractómetro portátil (Extech), a una escala de 0 a 45 °Brix, mostrado en el anexo 2.1

2.4.4 Viscosidad: Se determinó la viscosidad de la maltodextrina obtenida de almidón de achira, utilizando la técnica propuesta por la AACC (2000), con algunas modificaciones, mostrado en el anexo 2.2

2.4.5 Azúcares reductores y equivalente dextrosa (DE): Para determinar estos parámetros, se basó en un método propuesto por Pancoast y Junk (1980), el cual presenta detalladamente los pasos para evaluar el equivalente dextrosa, mostrado en el anexo 2.3

2.4.6 Capacidad de retención de agua: La capacidad de retención de agua se evaluó cualitativamente. A la suspensión de carne se agregó el 10% de la maltodextrina, la cual fue sometida a un tratamiento térmico (90°C) y luego a un centrifugado para observar la liberación de agua, mostrada en el anexo 2.4

2.5 Análisis estadístico

Evaluación de la maltodextrina

Para evaluar estadísticamente, el rendimiento, brix, equivalente dextrosa, viscosidad, capacidad de retención de agua de la maltodextrina obtenida del almidón de “achira”, se empleó un experimento factorial 3Ax4Bx2C bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 3 repeticiones, por unidad experimental. Se hizo uso del STATGRAPHICS 5.0 PLUS (Statistical Graphics System) para el procedimiento de los datos.

Factores:

A. Concentración de almidón

- a₁: Almidón 25%
- a₂: Almidón 30%
- a₃: Almidón 35%

B. Concentración de enzima

- b₁: Enzima 0,05%
- b₂: Enzima 0,10%
- b₃: Enzima 0,15%
- b₄: Enzima 0,20%

C. Tiempo de reacción

- c₁: 1 hora
- c₂: 2 horas

Variable respuesta: Rendimiento, brix, equivalente dextrosa, viscosidad, capacidad de retención de agua.

Unidad experimental: Almidón de achira

Modelo aditivo lineal.

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\delta)_{ik} + (\beta\delta)_{jk} + (\alpha\beta\delta)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

Dónde:

Y_{ij} = Obtención de maltodextrinas, experimentado en la i -ésima concentración de almidón, en la j -ésima concentración de enzima, en el k -ésimo tiempo de reacción.

μ = Efecto de la media general.

α_i = Efecto en la i -ésima concentración de almidón.

β_j = Efecto de la j -ésima concentración de enzima.

σ_k = Efecto del k -ésimo tiempo de reacción.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción de la i -ésima concentración de almidón, j -ésima concentración de enzima.

$(\alpha\delta)_{ik}$ = Efecto de la interacción de la i -ésima concentración de almidón, k -ésimo tiempo de reacción.

$(\beta\delta)_{jk}$ = Efecto de la interacción de la j -ésima concentración de enzima, k -ésimo tiempo de reacción.

$(\alpha\beta\delta)_{ijk}$ = Efecto de la interacción de la i -ésima concentración de almidón, j -ésima concentración de enzima, k -ésimo

tiempo de reacción.

ϵ_{ijkl} = Error experimental.

Comparaciones Múltiples:

Para evaluar las diferencias entre las medias de los tratamientos, se emplearan la prueba Tukey al 95% de confianza.

Evaluación del rendimiento de la maltodextrina

Para evaluar estadísticamente los valores del rendimiento de la maltodextrina, se empleó un diseño completamente al azar (DCA), con 24 tratamientos (provenientes del almidón de achira) y 3 repeticiones. Se hizo uso del STATGRAPHICS 5.0 PLUS (Statistical Graphics System).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Rendimiento (%) experimentado en la i-ésima maltodextrina obtenida del almidón de achira, evaluado en la j-ésima repetición.

μ = Efecto de la media general.

τ_i = Efecto de la i-ésima maltodextrina.

E_{ij} = Error experimental.

Evaluación de °Brix de la maltodextrina

Para evaluar estadísticamente los valores de ° Brix de la maltodextrina, se empleó un diseño completamente al azar (DCA), con 24 tratamientos (provenientes del almidón de achira) y 3 repeticiones. Se hizo uso del STATGRAPHICS 5.0 PLUS (Statistical Graphics System).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij}$$

Dónde:

- Y_{ij} = ° Brix experimentado en la i-ésima maltodextrina obtenida del almidón de achira, evaluado en la j-ésima repetición.
- μ = Efecto de la media general.
- τ_i = Efecto de la i-ésima maltodextrina.
- E_{ij} = Error experimental

Evaluación de Equivalente dextrosa (DE) de la maltodextrina

Para evaluar estadísticamente los valores de Equivalente dextrosa de la maltodextrina, se empleó un diseño completamente al azar (DCA), con 24 tratamientos (provenientes del almidón de achira) y 3 repeticiones. Se hizo uso del STATGRAPHICS 5.0 PLUS (Statistical Graphics System).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Equivalente dextrosa (%) experimentado en la i -ésima maltodextrina obtenida del almidón de achira, evaluado en la j -ésima repetición.

μ = Efecto de la media general.

τ_i = Efecto de la i -ésima maltodextrina.

E_{ij} = Error experimental

Evaluación de la viscosidad de la maltodextrina

Para evaluar estadísticamente los valores de Equivalente dextrosa de la maltodextrina, se empleó un diseño completamente al azar (DCA), con 24 tratamientos (provenientes del almidón de achira) y 3 repeticiones. Se hizo uso del STATGRAPHICS 5.0 PLUS (Statistical Graphics System).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Viscosidad experimentado en la i -ésima maltodextrina obtenida del almidón de achira, evaluado en la j -ésima repetición.

μ = Efecto de la media general.

τ_i = Efecto de la i -ésima maltodextrina.

E_{ij} = Error experimental

Evaluación de la Capacidad de retención de agua (CRA) de la maltodextrina

Para evaluar estadísticamente los valores de Equivalente dextros la capacidad de retención de agua de la maltodextrina, se empleó un diseño completamente al azar (DCA), con 24 tratamientos (provenientes del almidón de achira) y 3 repeticiones. Se hizo uso del STATGRAPHICS 5.0 PLUS (Statistical Graphics System).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Capacidad de retención de agua (%) experimentado en la i -ésima maltodextrina obtenida del almidón de achira, evaluado en la j -ésima repetición.

μ = Efecto de la media general.

τ_i = Efecto de la i -ésima maltodextrina.

E_{ij} = Error experimental

Descripción de los tratamientos

Tabla 2: Clave de los diferentes tratamientos

CLAVE		TRATAMIENTOS
A1B1C1	(T1)	25% almidón, 0,05% enzima, 1h
A1B1C2	(T2)	25% almidón, 0,05% enzima, 2h
A1B2C1	(T3)	25% almidón, 0,10% enzima, 1h
A1B2C2	(T4)	25% almidón, 0,10% enzima, 2h
A1B3C1	(T5)	25% almidón, 0,15% enzima, 1h
A1B3C2	(T6)	25% almidón, 0,15% enzima, 2h
A1B4C1	(T7)	25% almidón, 0,20% enzima, 1h
A1B4C2	(T8)	25% almidón, 0,20% enzima, 2h
A2B1C1	(T9)	30% almidón, 0,05% enzima, 1h
A2B1C2	(T10)	30% almidón, 0,05% enzima, 2h
A2B2C1	(T11)	30% almidón, 0,10% enzima, 1h
A2B2C2	(T12)	30% almidón, 0,10% enzima, 2h
A2B3C1	(T13)	30% almidón, 0,15% enzima, 1h
A2B3C2	(T14)	30% almidón, 0,15% enzima, 2h
A2B4C1	(T15)	30% almidón, 0,20% enzima, 1h
A2B4C2	(T16)	30% almidón, 0,20% enzima, 2h
A3B1C1	(T17)	35% almidón, 0,05% enzima, 1h
A3B1C2	(T18)	35% almidón, 0,05% enzima, 2h
A3B2C1	(T19)	35% almidón, 0,10% enzima, 1h
A3B2C2	(T20)	35% almidón, 0,10% enzima, 2h
A3B3C1	(T21)	35% almidón, 0,15% enzima, 1h
A3B3C2	(T22)	35% almidón, 0,15% enzima, 2h
A3B4C1	(T23)	35% almidón, 0,20% enzima, 1h
A3B4C2	(T24)	35% almidón, 0,20% enzima, 2h

Fuente: Elaboración propia

III. RESULTADOS

3.1 Propiedades físicas y químicas del almidón de achira (*Canna edulis*)

Tabla 3. Valores de parámetros físico-químicos del almidón de achira

Rendimiento (%)	Humedad (%)	Cenizas (%)	Densidad aparente (g/mL)	T° gelatinización °C	Tiempo de gelatinización (min)
10,75	11,33	0,10	0,716	65	1

3.1.1. Propiedades funcionales del almidón

Tabla 4. Valores de propiedades del almidón de achira

Temperatura °C	CRA (g agua/g muestra)	Sol. (g agua/g muestra)	FH (%)
60	8,56	15,65	68,55
70	13,32	14,31	83,07
80	15,04	11,91	90,99
90	15,56	8,52	88,84

CRA: Capacidad de retención de agua

Sol: Solubilidad

FH: Factor de hinchamiento

3.2 Propiedades físicas y químicas de la maltodextrina

Tabla 5. Valores promedio de parámetros fisicoquímicos de los diferentes tratamientos de maltodextrina

Tratamiento	%R	°Brix	%AR	%DE	%CRA	densidad	% C	%H
T1	20,23	2,5	13,71	14,27	58,25	1,0156	0,9	5,1
T2	24,33	7,5	15,63	16,47	59,583	1,0344	0,94	5,05
T3	26,8	3,1	12,74	13,46	56,417	1,0151	0,85	5,31
T4	37,93	3,4	12,74	13,55	47,217	1,0194	0,96	5,98
T5	19,21	7,5	7,71	8,107	63,5	1,0296	0,74	4,823
T6	32,85	7,2	16,71	17,6	58,17	1,0398	0,84	5,093
T7	24,03	7,3	15,84	16,43	66,25	1,118	0,72	5,127
T8	27,23	2,7	12,83	9,007	57,617	1,0138	0,84	5,41
T9	32,32	6,2	14,6	15,4	63,15	1,036	0,76	5,21
T10	16,78	7,5	11,71	12,11	79,417	1,0345	0,66	3,28
T11	14,75	7,3	8,44	8,81	66,25	1,0336	0,72	4,1
T12	20,83	6,5	11,24	11,86	62,917	1,0333	0,86	4,45
T13	46,21	7,2	14,43	15,29	54,83	1,0316	0,86	5,67
T14	17,29	7,5	15,56	16,16	76,83	1,0349	0,68	3,66
T15	35,27	7,2	15,64	16,58	66,83	1,0299	0,92	5,67
T16	38,4	6,2	18,36	19,5	63,917	1,035	0,89	5,863
T17	18,64	7,2	8,74	9,1	81,017	1,031	0,72	3,97
T18	30,81	7,4	10,04	10,58	67,083	1,0327	0,82	5,063
T19	23,14	6,3	15,44	16,13	77,417	1,0319	0,85	4,28
T20	20,54	4,4	6,73	7,03	73,43	1,0199	0,83	4,337
T21	27,81	7,0	15,31	16,44	67,683	1,037	1,02	5,3
T22	19	7,3	8,58	8,907	86,75	1,024	1,02	3,68
T23	22,9	4,4	13,65	14,26	72,5	1,0133	0,91	4,25
T24	26,31	7,5	16,74	17,76	56,983	1,032	0,91	5,767

%R: Rendimiento; %AR: Azúcares reductores; %DE: Equivalente dextrosa;
%CRA: Capacidad de retención de agua; %C: Cenizas; %H: Humedad

En la Figura 6 se muestra que el mayor rendimiento de maltodextrina se obtuvo con el tratamiento T13, seguido del T4 y T16 y el menor rendimiento se logró con el T11 y T14.

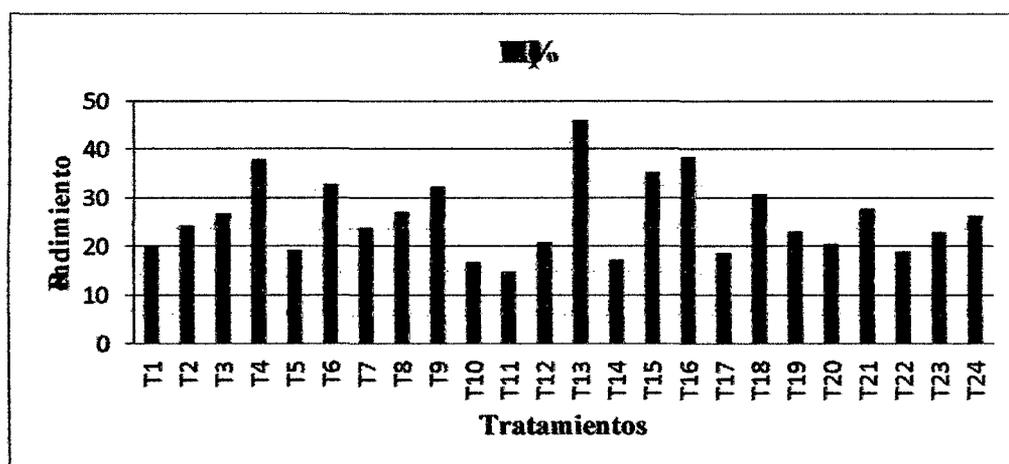


Figura 6. Representación gráfica de los valores promedio del rendimiento de la maltodextrina

En la Figura 7 se aprecia que el máximo rendimiento se obtuvo a una concentración de almidón de 30% y enzima de 0.2%, y el mínimo rendimiento con una concentración de almidón de 30% y concentración de enzima de 0.1%.

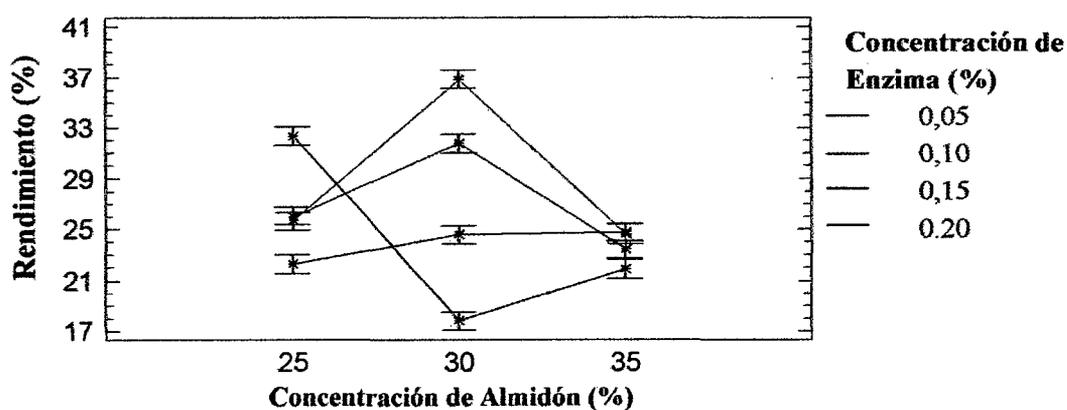


Figura 7. Rendimiento en función de la concentración almidón (%) y concentración de enzima (%)

En la Figura 8 se muestra que el mayor rendimiento de maltodextrina se consiguió a una concentración de almidón del 30% y a 1 hora de reacción. A dos horas de reacción se observa que a mayores concentraciones de almidón se obtiene menores rendimientos.

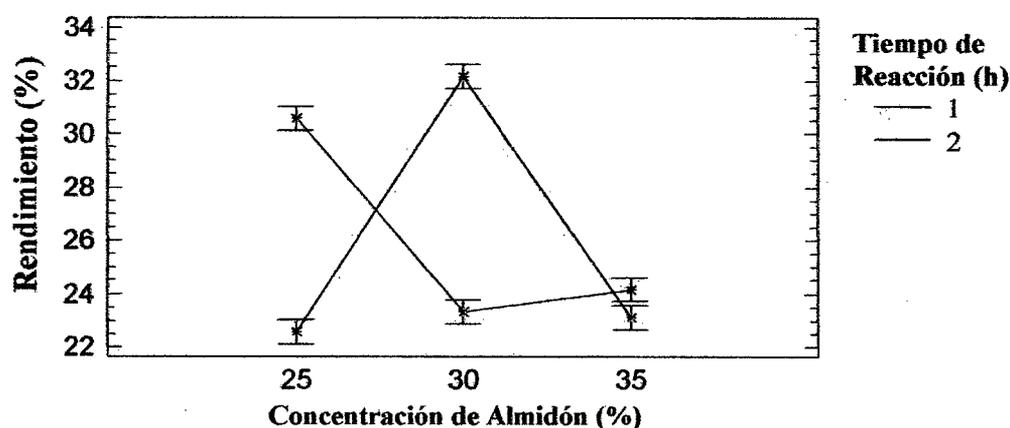


Figura 8. Rendimiento en función de concentración de almidón (%) y tiempo de reacción(h)

En la Figura 9 se aprecia que el mayor rendimiento de maltodextrina se logró a una concentración de 0.15% de enzima a 1 hora de reacción seguido de una concentración de enzima de 0.2% a 2 horas de reacción.

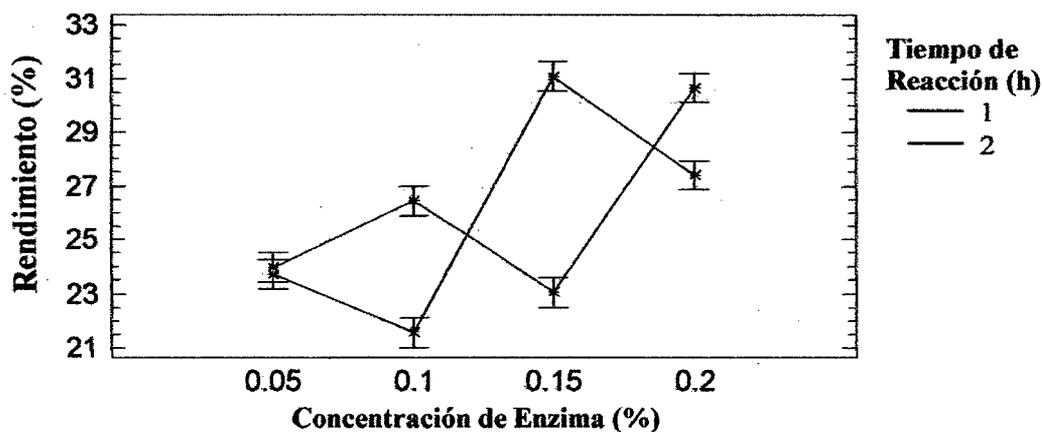


Figura 9. Rendimiento en función de concentración de enzima (%) y tiempo de reacción (h)

En la Figura 10 se muestra que el máximo valor 7,5 de °Brix, se alcanzó en 5 tratamientos (T2, T5, T10, T14 y T24), seguido del T18 con 7,4 y los tratamientos T7, T11 y T22 con 7,3.

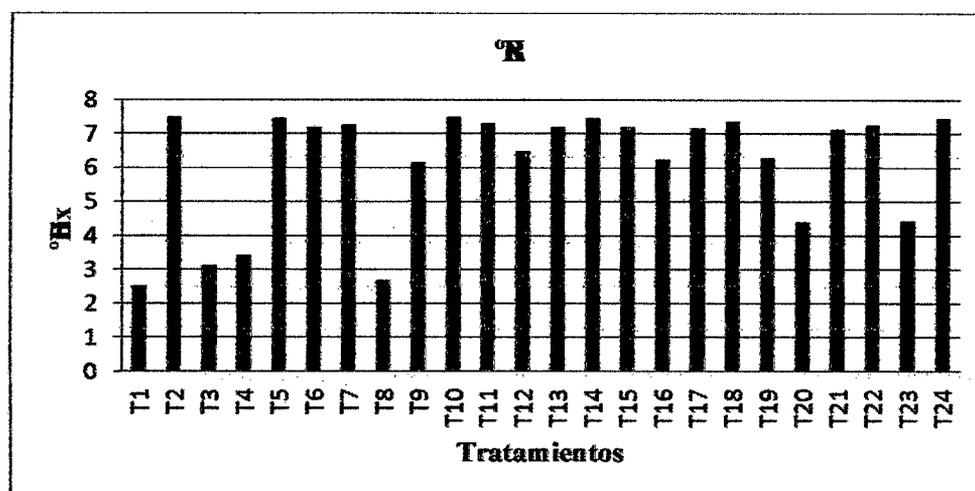


Figura 10. Representación gráfica de los valores promedio del ° Brix de la maltodextrina

En la Figura 11 se aprecia que se obtuvo comportamientos similares en los diferentes tiempos de reacción y concentraciones de almidón. Para ambos tiempos de reacción, el máximo valor de °Brix fue a una concentración de almidón de 30% y el mínimo a 25%.

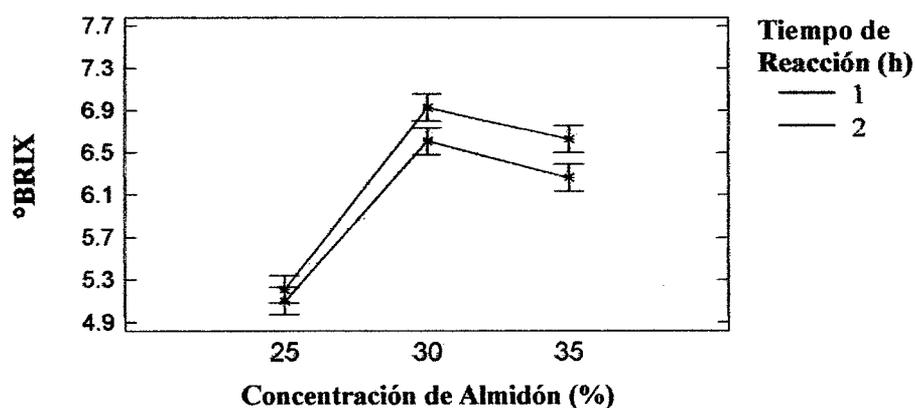


Figura 11. °Brix definido por la concentración de almidón (%) y tiempo de reacción (h)

En la Figura 12 se observa que mayores valores de °Brix se logró a concentraciones de almidón de 25% y 35%, con 0.15% de enzima.

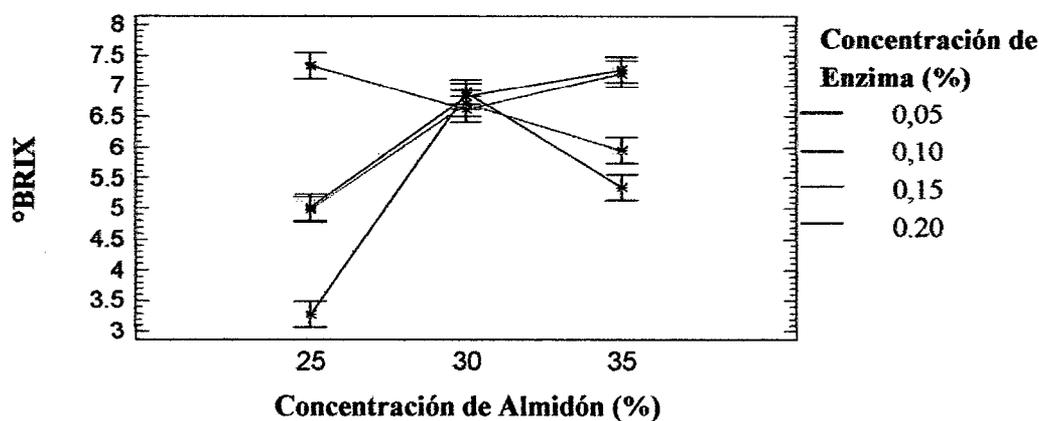


Figura 12. °Brix definido por la concentración de almidón (%) y concentración de enzima (%)

En la Figura 13 se muestra que el mayor valor de equivalente dextrosa (DE) se obtuvo con el T16, seguido del T24 y T6. Así mismo los mínimos valores se lograron con el T20 y T5.

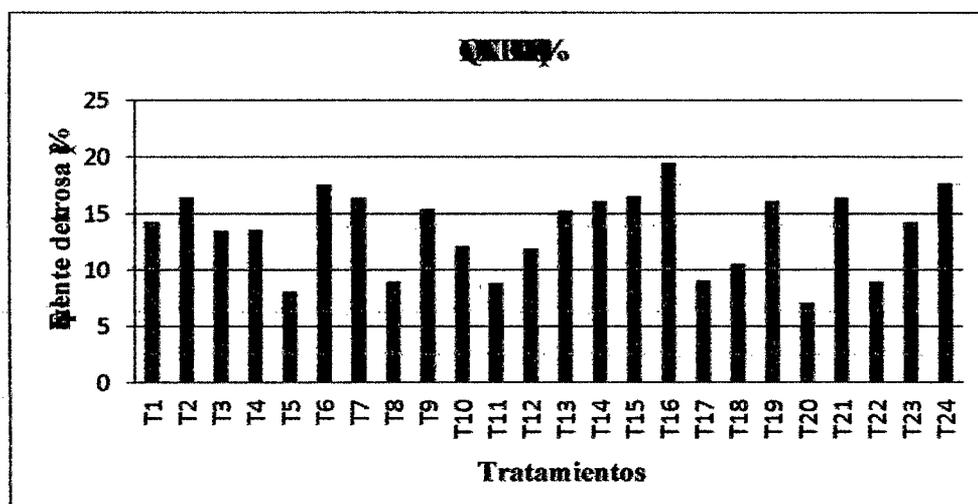


Figura 13. Representación gráfica de los valores promedio de equivalente dextrosa (DE) de la maltodextrina

En la Figura 14 se observa que el mayor valor DE se alcanzó a 30% de almidón y 0,2% de enzima y el menor a una concentración de almidón de 35% y de 0,05% de enzima.

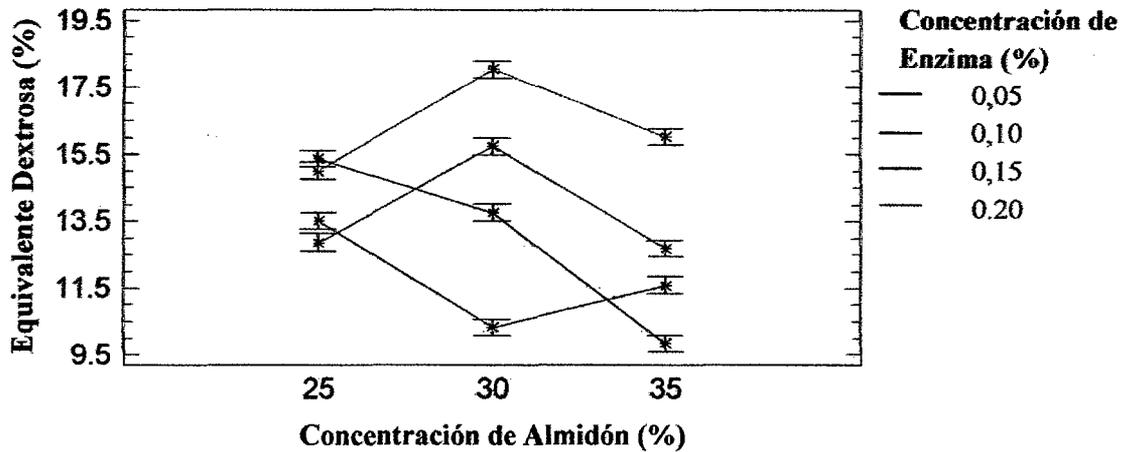


Figura 14. Equivalente dextrosa (% DE) definido por la concentración de almidón (%) y concentración de enzima (%).

En la Figura 15 se muestra que los mayores valores de DE se consiguieron a 25% de almidón a 2 horas de reacción. Además se observa que a diferentes concentraciones de almidón a 1 hora de reacción los valores de DE no tiene variación considerable.

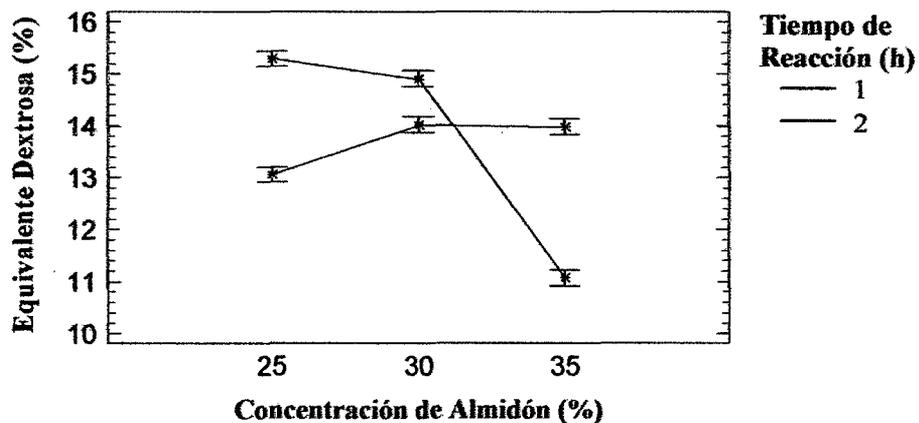


Figura 15. Equivalente dextrosa (% DE) definido por la concentración de almidón (%) y tiempo de reacción (h).

En la Figura 16 se muestra mayores valores de DE se tiene a 0.2% de enzima a 1 y 2 horas de reacción, asimismo el valor DE se tiene a 0.1% de enzima a 2 horas de reacción.

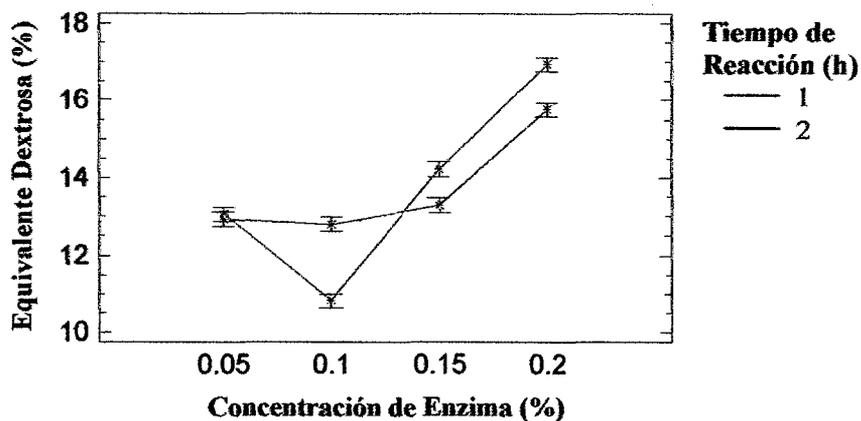


Figura 17. Equivalente dextrosa (% DE) definido por la concentración de enzima (%) y tiempo de reacción (h)

En la Figura 17 se muestra que en el T22 se obtuvo la mayor capacidad de retención de agua de la maltodextrina, seguido del T17 y T10. Asimismo los menores valores se obtuvieron con el T4 y T13.

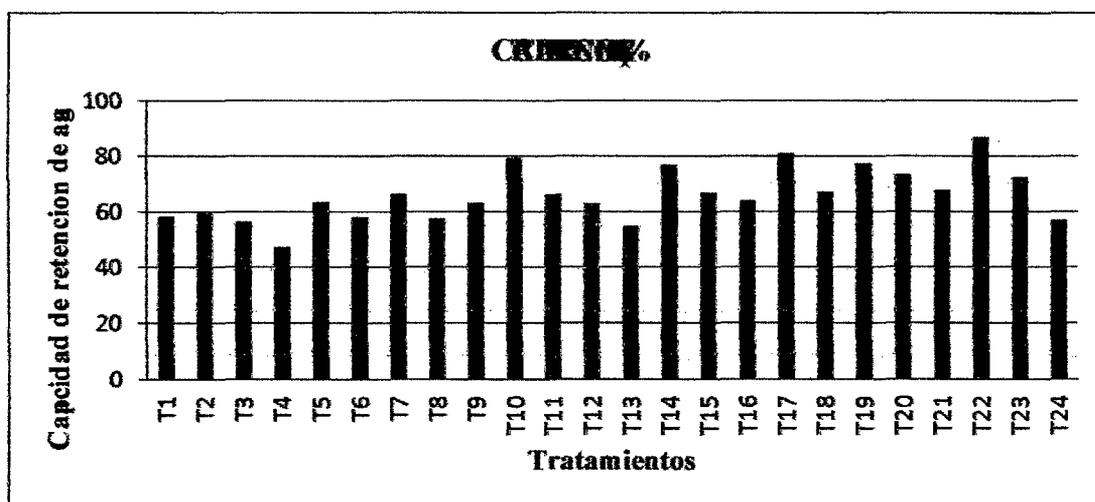


Figura 17. Representación gráfica de los valores promedio de capacidad de retención de agua (CRA) de la maltodextrina

En la Figura 18 se muestra que al 35% de almidón y a 0,15% de enzimas se tiene una mayor CRA y los mínimos valores se obtuvieron a 25% de almidón y 0.1% de enzima.

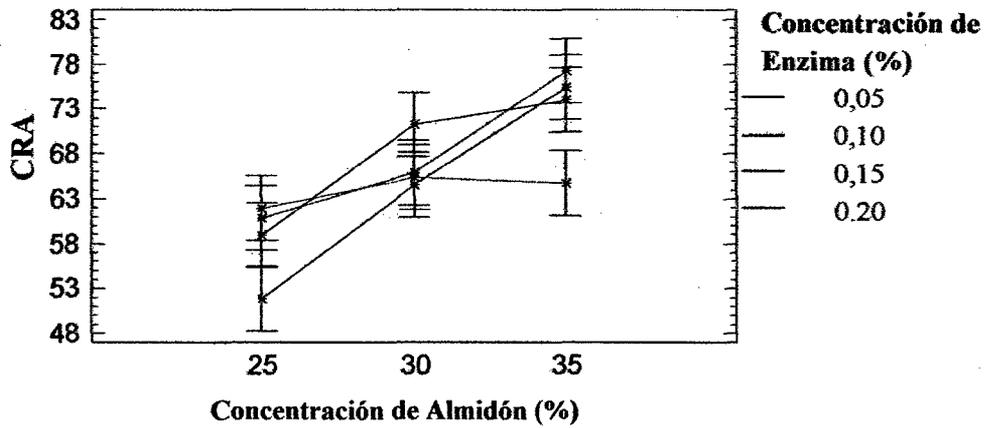


Figura 18. CRA definido por la concentración de almidón (%) y concentración de enzima (%)

En la Figura 19 se puede observar que a 1 hora y 2 horas de reacción la CRA a incrementa a medida que aumenta la concentración de almidón.

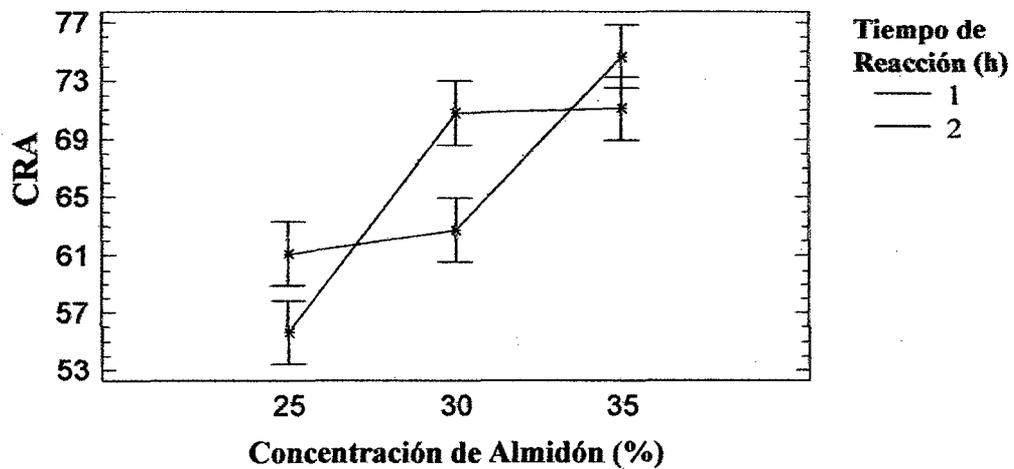


Figura 19. CRA definido por la concentración de almidón (%) y tiempo de reacción (h).

En la Figura 20 se observa que la mayor CRA se obtuvo a 0,15% de enzima a 2 horas de reacción y a 0,2% de enzima a 1 hora de reacción.

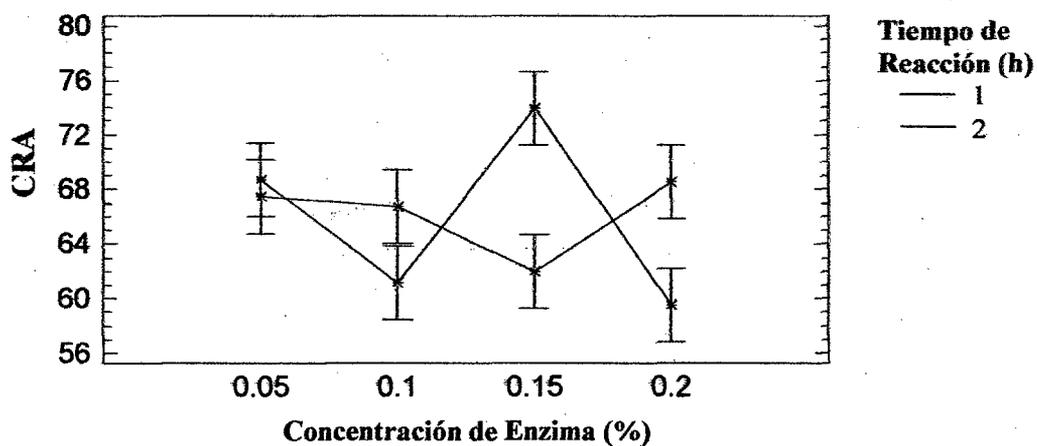


Figura 20. CRA definido por la concentración de enzima (%) y tiempo de reacción (h).

Tabla 6. Valores promedio de la viscosidad de la maltodextrina obtenida en los diferentes tratamientos

T°C	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24
20	17.37	16.28	18.3	17.25	15.84	19.02	17.39	17.39	15.91	19.6	18.08	15.61	18.9	16.63	16.12	17.58	17.7	17.52	16.2	17.75	19.58	16.47	16.767	17.52
30	14.23	15.41	16	14.1	14.33	17.29	14.4	14.22	13.6	16.7	15.07	13.12	16.1	13.3	13.35	14.07	14.52	14.28	13.2	13.64	14.83	13.1	13.283	13.43
40	11.35	12.15	12.3	10.87	11.17	13.93	11.37	11.14	10.94	13.1	12.12	10.47	12.2	11.03	11.26	8.65	11.43	10.17	9.6	10.5	10.02	9.267	9.2567	8.807
50	6.55	5.8	5.81	4.733	4.833	6.65	5.467	5.477	5.833	6.68	5.367	4.617	5.67	5.65	5.767	3.5	5.55	4.99	4.21	4.333	4.867	3.883	3.8	3.333

En la Figura 21 se muestra que la mayor viscosidad a 20 °C se obtuvo con el T21 seguido del T10 y los menores valores se lograron con el T12 y el T5.

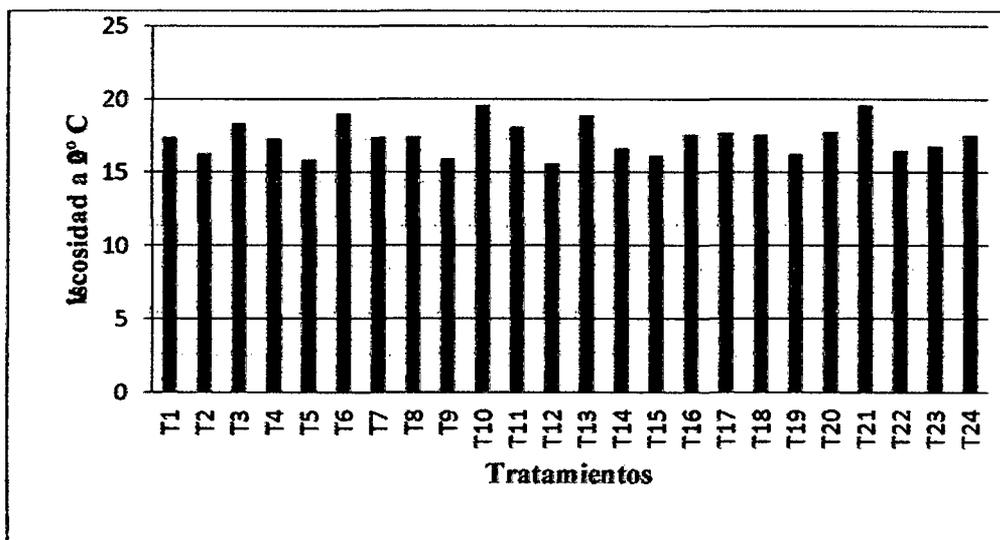


Figura 21. Viscosidad promedio de la maltodextrina a 20 °C

En la Figura 22 se muestra que la mayor viscosidad a 30 °C se obtuvo con el T6, T10 y T13 y los menores valores se lograron con el T12, T19 y T22.

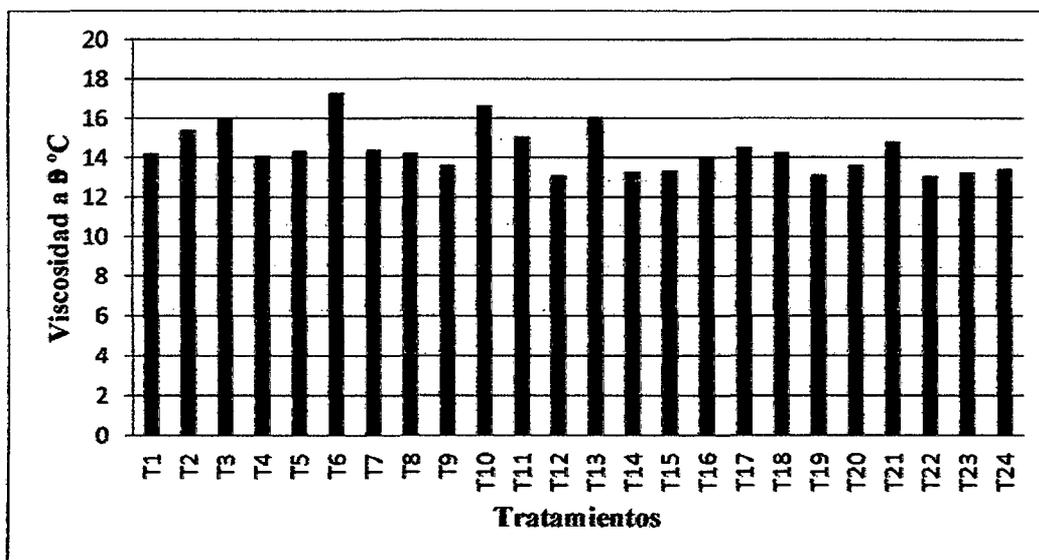


Figura 22. Viscosidad promedio de la maltodextrina a 30 °C

En la Figura 23 se muestra que la mayor viscosidad a 40 °C se obtuvo con el T6, T10 y T3, los menores valores se lograron con el T16 y el T24.

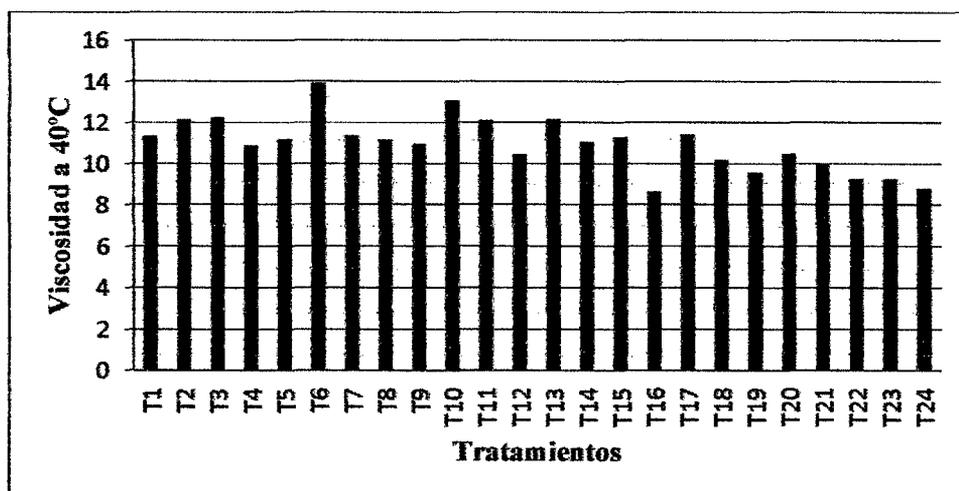


Figura 23. Viscosidad promedio de la maltodextrina a 40 °C

En la Figura 24 se muestra que la mayor viscosidad a 50 °C se obtuvo con el T6 seguido del T10 y T1, los menores valores se lograron con el T16 y el T24.

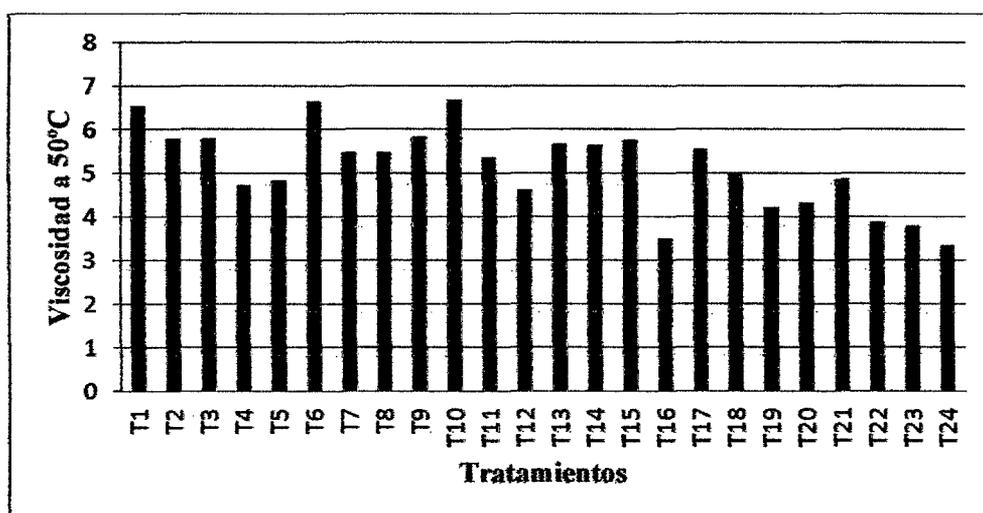


Figura 24. Viscosidad promedio de la maltodextrina a 50 °C

IV. DISCUSIÓN

Los rizomas de *Canna edulis* “achira” fueron recolectados en la localidad de Colcamar (2500 m.s.n.m), a una edad fisiológica aproximada de 10 meses, registrándose un rendimiento de 10.75%, valor similar al reportado por Rodríguez G. y Cols (2003), quien menciona que el rendimiento del almidón de achira oscila de un 10% a un 13%, dependiendo de la época de cosecha (10 – 12 meses) y la altitud, lo que demuestra que el método utilizado (CÓRPOICA, 2003) para la obtención del almidón fue el adecuado.

Se puede observar que el almidón de achira presenta una temperatura de gelatinización relativamente baja (65°C) y el mayor tamaño de gránulo de todos los almidones. De acuerdo con pruebas realizadas por el CIRAD y el CIAT en 1996 (Corpoica, 2003), el almidón de achira es altamente resistente a los cambios bruscos de temperatura y su comportamiento para este fin es mejor que el de los cereales, lo cual le permite ser utilizado como aditivo en productos que requieren este proceso, como es el caso de los alimentos infantiles.

En la tabla 3 se observa las características físico – químicas del almidón de achira, reportándose una humedad de 11,33%, lo que indica que esta en relación con lo reportado por CÓRPOICA, donde señala que la humedad debe ser inferior al 16%, para lograr un adecuado almacenamiento y conservación. Así mismo se muestra una T° de gelatinización de 65° C, el mismo autor menciona que la temperatura de este almidón oscila entre 64°C y 72°C, lo que indica que a esta temperatura los gránulos de almidón alcanzan su máximo hinchamiento, por tanto el máximo de viscosidad.

Guizar (2009), menciona que en las evaluaciones realizadas con dos tipos de almidón de camote de cerro, la capacidad de retención de agua (CRA) para ambos almidones se vio incrementada al aumentar la temperatura (40, 50, 60, 70, 80, 90 °C). A temperaturas por debajo de los 70 °C la capacidad de retención de agua fue mínima en ambos almidones, sin embargo a temperatura mayor observó un incremento considerable en la CRA, siendo máxima a 75 °C. En la Tabla 4, se presentan propiedades de CRA, a diferentes temperaturas: 60 , 70 , 80 y 90 °C, mostrando que se tiene valores que van desde 8,56 hasta 15,56 g agua/ g muestra respectivamente, lo que indica que va en aumento al incrementar la temperatura, siendo considerable hasta los 80 °C , ya que a estas temperaturas los almidones se hidratan rápidamente como consecuencia de la ruptura de los enlaces de hidrógeno en las regiones amorfas, seguidas de una progresiva absorción de agua, estando en relación con la evaluación del autor mencionado.

En la Tabla 4 se muestran valores para la solubilidad de 15,65 a 8,52 g agua/ g muestra y para el factor de hinchamiento desde 68,55 a 88,84%. Para la solubilidad los valores fueron disminuyendo al incrementar la temperatura, debido a que la amilosa y la amilopectina del almidón comienzan a interactuar formando complejos insolubles, los cuales precipitan disminuyendo la solubilidad. Jiménez et al. (2006).

En las evaluaciones del factor de hinchamiento el máximo valor se alcanza a los 80 °C, a partir del cual disminuye. Guizar (2009), en la evaluación de dos tipos de almidón de camote de cerro, nos muestra que el factor de hinchamiento tuvo un máximo valor a una temperatura de 75 °C, disminuyendo a temperaturas cercanas y superiores a 90 °C, como consecuencia de la ruptura de los gránulos y consecuente liberación de las fracciones de amilosa y amilopectina en la dispersión. Esta diferencia entre lo evaluado y lo que

menciona el autor está influenciado por el tipo de almidón y su composición, lo que explica el comportamiento del almidón de achira frente a estas propiedades.

El proceso de licuefacción enzimática incluye ajustar el pH de la solución de almidón entre 6,0 y 6,5 siendo óptimo para la α - amilasa procedente de *Bacillus licheniformis* (Termamyl), mediante la adición de hidróxido cálcico, hidróxido sódico o de carbonato sódico, así lo indica Genencor International Inc. (1998). Para la investigación, se trabajó con un rango de pH de 6,4 a 6,5, el cual se ajustó utilizando hidróxido de sodio al 0.1 N, cumpliendo con los parámetros para la activación de la enzima α - amilasa de *Bacillus Licheniformis* (Termamyl) ya que a estas condiciones la enzima tiene mayor actividad lo que se demuestra en el rendimiento de las muestras.

En la presente investigación se agregó cloruro de calcio (CaCl_2) como fuente de iones calcio para estabilizar las alfa amilasas frente a la desactivación. Calcáneo (1981) menciona que los iones metálicos actúan como activadores de las enzimas hidrolíticas, manteniendo la molécula proteica estable para la actividad catalítica. En el estudio se pudo determinar que el calcio contribuyó a la actividad de la enzima, por lo que se obtuvieron resultados como los valores de equivalente dextrosa (DE) que confirman que existió hidrólisis enzimática.

En el desarrollo de la investigación, el proceso de licuefacción se llevó a cabo inicialmente regulando el pH de la solución a 6,4; agregándole cloruro de calcio (CaCl_2) y calentando la solución a 70 °C en la cual se adicionó la enzima termamyl (α - amilasa de *Bacillus licheniformis*) para luego incrementar la temperatura de 85 a 90°C con agitación constante en el agitador magnético, dándole así las condiciones necesarias para su actividad. Aguilar

(2008) en su investigación sobre tratamiento enzimático de la pulpa de plátano, menciona que el proceso de licuefacción generalmente se lleva a cabo con agitación y a una temperatura entre 80 a 120 °C, ya que a alta temperatura y la fuerza mecánica permite una rápida gelatinización, de acuerdo a la fuente de almidón de que se trate. La reacción se realiza durante un periodo de 90 a 120 minutos, finalmente se realiza una centrifugación para separar el almidón no hidrolizado. Con esto se puede determinar que el método empleado para realizar la hidrólisis del almidón es adecuada porque según el mismo autor, los principales productos que se obtienen en este proceso son maltodextrinas, maltosas, maltotriosas y otros en menores proporciones.

En la Figura 13 se observa la representación gráfica de los valores de equivalente dextrosa (DE) de la maltodextrina, los cuales muestran valores desde 7,03 (T20) hasta 19,5 (T16). Así mismo se obtuvieron maltodextrinas con equivalentes de dextrosa de 17,76% en tiempos de hidrólisis de 2 horas, bajo condiciones de concentración de enzima (0,2%) y concentración del sustrato (35 %) y temperatura (85 – 90°C), las cuales fueron similares a las obtenidas por Vidal (2010) en el estudio realizado sobre la obtención de maltodextrina de malanga, teniendo un equivalente dextrosa (DE) de 18,81% a una concentración del 36% de almidón. En la investigación también se obtuvieron valores mínimos de DE de 7,03%, los cuales determinan el grado de hidrólisis del almidón. Vidal (2009), menciona que el rango de los productos de hidrólisis se describe en términos de equivalentes de dextrosa (DE), el cual indica el poder reductor del conjunto de azúcares presentes en la mezcla, cuanto mayor sea el valor de equivalente dextrosa (DE) de la mezcla de hidrólisis más intensa habrá sido la fragmentación del polímero de almidón. Los productos de la hidrólisis del almidón con DE menores de 20 reciben el nombre de maltodextrinas.

En la Tabla 5 se observa valores de densidad de la maltodextrina, alcanzando valores promedio entre 1,0133 g/mL (T23) y 1,118 g/mL (T7) estando cercano a los valores que menciona el Grupo Transmerquím que es de 1,581 g/mL, debiéndose a que la maltodextrina obtenida no se llevó a un proceso de purificación influenciando de esta manera en sus propiedades físicas y químicas.

En la Figura 10 se muestra el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) de la maltodextrina estando entre 2,5 a 7,5 de los diferentes tratamientos y en un análisis realizado a la maltodextrina de maíz de Montana S.A se obtuvo un valor de 10,6; con lo que se comprueba que los resultados son aceptables y las variaciones se deben al diferente grado de hidrólisis y tipo del almidón que se utilizó.

En las Figuras 21, 22, 23 y 24 se observa que la viscosidad tiende a disminuir conforme se incrementa la temperatura; teniendo 19,6 cP a 20 °C como la más alta y 3,3 cP a 50 °C como la más baja. Además de tener un comportamiento de fluido Newtoniano. Resultados parecidos obtuvieron Díaz y cols (2003), en su investigación sobre el Análisis de la viscosidad de la glucosa cubana de la fábrica de hidrolizados de almidón de Cienfuegos, teniendo fluidos viscosos newtonianos, además que la disminución de la viscosidad estuvo influenciada por el incremento de temperatura y los °brix para todas las muestras analizadas. Bertrán y Marcilla (2003), indican que esto se debe a que conforme aumenta la temperatura, las fuerzas viscosas son superadas por la energía cinética, dando lugar a una disminución de la viscosidad. Respecto a los polímeros, la dependencia con la temperatura que estos presentan es una función de la estructura y del tipo de polímero.

V. CONCLUSIONES

- La llicuefacción es un proceso mediante el cual se convierte almidón en dextrinas de cadena más corta y menos viscosas. Para llevar a cabo este proceso existen factores a tener en cuenta para optimizar la actividad de la enzima α – amilasa como regular el pH y agregar una fuente de calcio a la dilución (agua - almidón), ya que es un elemento estabilizador de la enzima.
- Las condiciones a las que se encontró los mayores rendimientos de la maltodextrina fue con una concentración de enzima de 0.2% y 25 - 30 % de almidón, influyendo en las características de la maltodextrina, en cuanto al tiempo de reacción no se presentaron diferencias significativas pudiendo trabajar con 1 o 2 horas.
- Los tratamientos que reúnen las condiciones óptimas del proceso de licuefacción del almidón de achira fueron el T 15 (concentración de almidón de 30%, concentración de enzima α -amilasa (Termamyl) de 0.2%) y tiempo de reacción de 1 hora) y T 7 (concentración de almidón de 25%, concentración de enzima α -amilasa (Termamyl) de 0.2% y tiempo de reacción de 1h), alcanzando un valor de Dextrosa Equivalente de 16.58% y 16.43% respectivamente.
- El tamaño de los rizomas utilizados para el desarrollo de la investigación fueron de 10 a 20 cm de largo y 5 – 8 cm de ancho.
- Con la investigación se demostró que los rizomas de achira son una fuente potencial de almidón, el cual puede ser extraído bajo un proceso de molienda húmeda. A partir de dicho almidón fue posible obtener maltodextrinas por medio de hidrólisis enzimática.
- Al observar muestras de almidón de achira al microscopio con objetivo de 40 X, se pudo verificar que los gránulos de almidón presentaron formas elipsoidales (ver

Fotografía 9 y 10) y de gran tamaño (20 – 110 micras) debido a esto la sedimentación es moderadamente rápida, siendo este un factor que influencia sobre algunas de sus propiedades funcionales como el poder de hinchamiento y la absorción de agua.

- En el desarrollo de la investigación se pudo determinar que la viscosidad es una propiedad no determinante para caracterizar la maltodextrina, presentó un comportamiento de fluido newtoniano. Generalmente los valores de viscosidad deben ser mínimos ya que al emplearlo como ingrediente para la elaboración de otros productos, este no debe alterar sus propiedades.
- Las maltodextrinas son carbohidratos nutritivos, no dulces, solubles en agua fría y son utilizadas en la industria alimentaria para proporcionar consistencia y textura, controlar el dulzor, reemplazar grasas, encapsular olores, formar películas, reducir la cristalización y controlar el punto de congelación.

VI. RECOMENDACIONES

- Incentivar el cultivo de la Achira es una alternativa para los pequeños agricultores ya que no representa grandes costos ni extensas áreas para el mismo, fomentando la agroindustria con la producción de harina (almidón). Además con el apoyo de alguna organización se puede promover proyectos de inversión para la producción intensiva de rizomas de achira.
- Los resultados de este trabajo muestran que hay una cantidad importante de almidón que no fue hidrolizado, por tal motivo, se sugiere realizar una hidrólisis ácido-enzimática en el proceso de licuefacción para hidrolizar una mayor cantidad de sustrato.
- Sería conveniente la aplicación en alimentos de la maltodextrina obtenida, así como la evaluación de su adición, en las propiedades funcionales y sensoriales de estos alimentos.
- Es necesaria más investigación sobre el procesamiento del almidón de achira para elaborar maltodextrina en los tiempos, concentraciones y los residuos encontrados.
- Se deben estudiar más las características de los subproductos del procesamiento de almidón de achira y determinar si se puede dar algún uso a los mismos.
- Realizar pruebas de aceptación y funcionalidad del producto.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Sandoval, Alondra. 2008. Tratamiento enzimático de la pulpa de plátano (*Musa paradisiaca L*) para la obtención de jarabe de glucosa y fibra dietética. Yautepec. Morelos.
- AOAC. 2000. Ash of flour. Association of analytical chemists international (AOAC). 7a ed. Estados Unidos de América.
- Aristizábal Johanna y Teresa Sánchez. 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca, boletín de servicios agrícolas de la FAO 163. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma.
- Barrera, V., P. Espinosa, C. Tapia, A. Monteros & F. Valverde. 2004. Caracterización de las raíces y los tubérculos andinos en la ecoregión andina del Ecuador (Capítulo1). pp. 3-30. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones agropecuarias, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Quito – Lima.
- Bello Pérez Luis A., Jiménez Aparicio Antonio, Contreras Ramos Silvia Maribel, Romero Manilla Rhebeca, Solorza Feria Javier. 2002. Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *musa paradisiaca L*. (Var. Macho). Agrociencia. México. Pp. 169-180.
- Bryant, C. M. y Hamaker, B. R. 1997. Effect of lime on gelatinization of corn flour and starch. *Cereal Chemistry*, 74(2): 171-175.
- Buleón A., Colona P., Planchot V., y Ball S. 1998. Starch granules: Structure and biosynthesis. *International journal of biological macromolecules*, 23: 85-112.

- Cadima Fuentes, Ximena. 2006. Tubérculos. Fundación PROINPA. Universidad mayor de San Andrés. Cochabamba - Bolivia.
- Caicedo, Guillermo. 1999. Raíces Andinas. Nº 11. El cultivo de achira, alternativa de producción para el pequeño productor. CORPOICA. Bogotá, Colombia. Pág. 39-40.
- Calcáneo, Xinia. 1981. Hidrólisis enzimática de harina de arroz. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
- Corporación colombiana de investigaciones agropecuarias – CORPOICA. 2003. Concepción de un modelo de agroindustria rural para la elaboración de harina y almidón a partir de raíces y tubérculos promisorios, con énfasis en los casos de achira (*Canna edulis*), arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y ñame (*Dioscorea sp*). Tibaitata – Colombia.
- Cortés Acosta, Mary Carmen. 2008. Obtención y Caracterización de Almidón de Plátano Morado (*Red banana*) y su hidrólisis enzimática para la producción de maltodextrina. Instituto politécnico nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México.
- Crosbie, G. B. (1991). The relationship between starch swelling properties, paste viscosity and boiled noodle quality in wheat flours. *Journal of Cereal Science*, 13: 145-150.
- Curá J.A., Jansson P.E y Krisman C.R. 1995. Amylose is not strictly linear. *Starch/starke*, 47: 207-209.
- Durango, E. 2009. Producción de enzima amilasa microbológica mediante fermentación en medio líquido. Universidad Pontificia Bolivariana. Córdoba.

- Dos Santos A. y Ayala, B. 2000. Universidad Nacional Agraria la Molina. Programa de Investigación y Proyección Social en Raíces y Tuberosas. Disponible: <http://www.lamolina.edu.pe/investigacion/programa/achira/>. Acceso el 15 de noviembre del 2011.
- Estrada, A., Bello-Pérez, Martínez C., Montañez Soto, Jiménez- Hernández & Vivar-Vera. 2009. Producción enzimática de maltodextrinas a partir de almidón de malanga (*Colocasia esculenta*). *CyTA - Journal of Food*, 7:3, 233-241. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/19476330903091300>
- Fundamentos y técnicas de análisis de alimentos, laboratorio de alimentos, departamento de alimentos y biotecnología facultad de química, UNAM. 2008
- Guízar Miranda, Alberto. 2009. Obtención y caracterización física y química del almidón de “camote de cerro” (*Dioscorea spp*). Instituto politécnico nacional. Michoacán – México.
- Grupo Transmerquim. 2009. Hoja de datos de seguridad de maltodextrina. México.
- Idrovo Vallejo, Wilson. 2010. Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de harina de achira (*Canna edulis*) en el cantón Loja. Escuela Politécnico Nacional. Ecuador.
- Jiménez, H. J., Salazar, M. J.A y Ramos, R. E.G. 2006. Physical, chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) tuber and its comparison. *Carbohydrate Polymers*. 07-035
- López-Munguía A. 2002. Edulcorantes. En: García-Garibay M.. *Biotecnología Alimentaria*. Limusa. México. pp: 519-528.

- López M; Beatriz e; Carvajal luz; Millán C; Leonidas de J. 2009. Establecimiento de condiciones de la mezcla de pulpa de banano (*Musa paradisiaca L.*) para someter a secado por aspersión. Vitae, Revista de la facultad de química farmacéutica. Universidad de Antioquia. Colombia.
Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?icve=169813261002>
- Luna Imbacuán, William y Mera Arroyo, Julián. 2006. Producción de dextrinas de yuca a partir de almidón nativo en la rallandería Todo Yuca ubicada en el Corregimiento Pescador. Colombia.
- Montes E.; Salcedo J.; Zapata J.; Carmona J.; Paternina S. 2008. Evaluación de las propiedades modificadas por vía enzimática del almidón de ñame (*d. trifida*) utilizando α -amilasa (Termamyl lr 120 I, tipo I). Vitae, Revista de la facultad de química farmacéutica. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. págs. 51-60
- Moreno, Gilberto. 2006. Proyecto de producción del cultivo de sagú (*Canna edulis*), familia Cannáceas en el Municipio de Jauregui, Estado Tachira. La Grita – Venezuela.
- Mujica Rodríguez María Virginia. 2007. Evaluación de panelas granuladas artesanales y estudio de algunos factores que afectan su calidad. Universidad Simon Bolívar.
- Myers A.M., Morell M.K., James M.G y Ball S.G. 2000. Recent progress towards understanding biosynthesis of the amylopectin crystal. Plant physiology, 122: 989-997.
- Narayana, K., & Narsinga Rao, M. S. (1982). Functional properties of raw and heat processed winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus*) flour. Journal of Food Science, 47, 534–538.
- NMX-F-382-1986. Alimentos. Almidón o fécula de maíz. Foods. Corn starch. Normas mexicanas. Dirección general de normas.

- Nollet, Leo M. L.; Handbook of food analysis; M. Dekker, New York 1996.
- Pancoast, H. M. and Junk, W. R. 1980. Handbook of sugar. AVI Publishing Co., Inc. Westport, CT, USA.
- Rodríguez G., García H., Camacho J., Arias F. 2003. El almidón de achira o sagú (*Canna edulis ker*). CORPOICA. Colombia.h
- Robin J.P., Mercier C., Charbonniere R. y Guilbot A. 1974. Lintnerized starches. Gel filtration and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. *Cereal chemistry*, 51: 349-406.
- Srichuwong, S., and Jane, J. 2007. Physicochemical properties of starch affected by molecular composition and structures: a review. *Food science and biotechnology*.
- Tapia, Victor G.; Monteros, Álvaro R.; 2004. Raíces y tubérculos andinos alternativos para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Instituto nacional autónomo de investigaciones agropecuarias (INIAP). Ecuador.
- Thomas, D.J y Atwell, W.A. 1999. Starches: practical guides for the food industry. Eagan press handbook series AACC, St. Paul, Minnesota. USA.
- Torres, Luis. 1999. Raíces andinas: Beneficios de la achira para la obtención de almidón en Colombia. CORPOICA. Colombia.
- Vidal Moreno, Cecilio. 2009. Problema clínico: Sobre la alerta de la Food and Drug Administration (FDA) en relación con valores erróneos de glucemia por interferencia de otros azúcares. Disponible en: www.jano.es
- Vidal Tovar, Carlos Ramón. 2010. El ñame espino (*Dioscorea rotundata Poir.*): Una opción en la producción de jarabes edulcorantes intermedios para la industria

alimentaria. Revista de investigación agraria y ambiental. 19-28. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Colombia.

- Villagra, Anabel Alejandra. 2010. Almidón retrogradable en el tratamiento dietoterápico de la diabetes mellitus tipo 2.

ANEXOS

ANEXO 1

MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN DE ACHIRA (*Canna edulis*)

1.1. Humedad

Se realizó por el método de la termobalanza, utilizando la balanza de humedad (Adam Equipment), el cual se basa en evaporar de manera continua la humedad de la muestra y el registro continuo de la pérdida de peso, hasta que la muestra se sitúe a peso constante. El error de pesada en este método se minimiza cuando la muestra no se expone constantemente al ambiente.

1.2. Cenizas

Para determinar el contenido de cenizas que tiene la muestra se realizó lo siguiente, se pesaron aproximadamente 1g de almidón en un crisol de porcelana que ha sido lavado, secado en un horno y pesado, se colocó el crisol con la muestra en la mufla y se incinero a 550°C durante 1 hora, seguidamente se enfrió el crisol y las cenizas en un desecador, y posteriormente se pesaron.

1.3. Tiempo y temperatura de gelatinización

Para determinar el tiempo y temperatura de gelatinización, se pesaron 10 g de almidón de achira en base seca y se disolvió con 100 mL de agua destilada en un vaso de precipitado de 200 mL. La suspensión fue calentada en un agitador magnético y se introdujo el termómetro en la suspensión. El calentamiento fue continuo hasta que la solución comenzó a formar gel, y esa temperatura fue tomada. Para el tiempo de gelatinización se esperó un tiempo en el que la pasta se mantenía a una temperatura constante y se anotó ese tiempo.

1.4. Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua se determinó adicionando agua a temperatura ambiente a muestras de almidón (0.25g en 5 mL de agua) en vaso de precipitación, luego la solución se calentó a temperaturas de 60, 70, 80,90 °C, durante 30 minutos y con agitación cada 5 minutos. Posteriormente se coloca en tubos de centrifuga para centrifugar a 5000 rpm x 10 min, el sobrenadante fue decantado y los tubos dejados en reposo, luego se pesó y se calculó la CRA (en g de agua/g de muestro) con la siguiente fórmula:

$$CRA = \frac{\text{Peso gel}(g) - \text{peso muestra}(g)}{\text{peso muestra}(g)}$$

1.5. Solubilidad (SOL) y Factor de hinchamiento (FH)

Para estas propiedades se preparó una dispersión de almidón 1% (p/p) en vaso de precipitación, se agitaron perfectamente y fueron mantenidos en baño de agua a 60, 70, 80 y 90°C durante 30 min con agitación cada 5 min. Posteriormente se colocó en tubos de centrifuga y luego la suspensión fue centrifugada a 5100 rpm/15 min. El sobrenadante fue decantado y el volumen medido. Los cálculos de ambos parámetros se muestran en las siguientes ecuaciones.

$$SOL = \frac{\text{peso solidos solubles}(g)}{\text{peso muestra}(g)} \times 100$$

$$FH = \frac{\text{peso gel}}{\text{peso muestra} - \text{peso solidos solubles}}$$

ANEXO 2

MÉTODOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS REALIZADOS EN LA MALTODEXTRINA

2.1. °Brix

Para esta evaluación, se pesaron 1 g de la muestra y se adicionaron 7.5 mL de agua, se agitó por 5 minutos en agitador magnético y se completó el peso de la solución a 10 g, luego se colocó una gota de la muestra de la dilución a 20 °C en el prisma del refractómetro (Extech 0-45%) y se tomó la lectura del % de sólidos solubles.

2.2. Viscosidad

Se preparó una suspensión de maltodextrina al 5% (p/v) en agua, colocando estos en un baño con agua hirviendo durante 5 minutos y posteriormente enfriándolos a temperatura ambiente. La viscosidad aparente de la suspensión se midió a 20, 30, 40, 50 °C en viscosímetro Brookfield a una velocidad de deformación de 12 rpm usando spindle 1.

2.3. Azúcares reductores (AR) y equivalente dextrosa (DE)

Para evaluar esta característica, se realizó lo siguiente: La solución Felhing se preparó con una mezcla de partes iguales (5 mL) de solución A y solución B. la mezcla se llevó a ebullición y se tituló con el jarabe de dextrosa obtenido, casi al final del cambio de coloración se agregó 2 gotas de azul de metileno y se siguió titulando hasta la desaparición completa del color azul.

Los azúcares reductores (AR) se calcularon como sigue:

$$\% \text{ AR} = \frac{(\text{Factor felhing})(100)}{\text{mL titulacion}}$$

$$\% \text{ DE} = \frac{(\% \text{AR})(100)}{\% \text{ Solidos totales}}$$

2.4. Capacidad de retención de agua (CRA)

Para determinar la capacidad de retención de agua, en tubos de ensayo se pesaron 2g de carne, 0.2g de maltodextrina en base seca y 4ml de agua destilada. La solución fue agitada vigorosamente hasta tener una mezcla homogénea, luego fueron llevadas a baño maría a 90 °C por 15 min, seguidamente las muestras se enfriaron y se centrifugaron a 3500 rpm x 15 min. Finalmente las muestras con la ayuda de una pipeta se midieron el volumen de agua no retenida y por diferencia se determinó el CRA de cada tratamiento.

ANEXO 3

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS E INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA

Tabla 2: Clave de los diferentes tratamientos

CLAVE		TRATAMIENTOS
A1B1C1	(T1)	25% almidón, 0,05% enzima, 1h
A1B1C2	(T2)	25% almidón, 0,05% enzima, 2h
A1B2C1	(T3)	25% almidón, 0,10% enzima, 1h
A1B2C2	(T4)	25% almidón, 0,10% enzima, 2h
A1B3C1	(T5)	25% almidón, 0,15% enzima, 1h
A1B3C2	(T6)	25% almidón, 0,15% enzima, 2h
A1B4C1	(T7)	25% almidón, 0,20% enzima, 1h
A1B4C2	(T8)	25% almidón, 0,20% enzima, 2h
A2B1C1	(T9)	30% almidón, 0,05% enzima, 1h
A2B1C2	(T10)	30% almidón, 0,05% enzima, 2h
A2B2C1	(T11)	30% almidón, 0,10% enzima, 1h
A2B2C2	(T12)	30% almidón, 0,10% enzima, 2h
A2B3C1	(T13)	30% almidón, 0,15% enzima, 1h
A2B3C2	(T14)	30% almidón, 0,15% enzima, 2h
A2B4C1	(T15)	30% almidón, 0,20% enzima, 1h
A2B4C2	(T16)	30% almidón, 0,20% enzima, 2h
A3B1C1	(T17)	35% almidón, 0,05% enzima, 1h
A3B1C2	(T18)	35% almidón, 0,05% enzima, 2h
A3B2C1	(T19)	35% almidón, 0,10% enzima, 1h
A3B2C2	(T20)	35% almidón, 0,10% enzima, 2h
A3B3C1	(T21)	35% almidón, 0,15% enzima, 1h
A3B3C2	(T22)	35% almidón, 0,15% enzima, 2h
A3B4C1	(T23)	35% almidón, 0,20% enzima, 1h
A3B4C2	(T24)	35% almidón, 0,20% enzima, 2h

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Interpretación estadística

CLAVE	INTERPRETACIÓN
a	Misma letra pertenece a un grupo
b	homogéneo
c	Diferente letra diferencia
d	estadísticamente significativa

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 4: RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA

Tabla 8: Rendimiento de la maltodextrina obtenida en los diferentes tratamientos, expresado en porcentaje

REPET.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24
R1	20,08	24,52	26,8	38,48	19,08	33,6	24,08	27,8	32,24	16,73	14,9	21,2	47,97	17,7	34,07	38,57	18,68	31,88	23,34	20,51	27,53	18,74	22,91	26,63
R2	20,2	24,16	26,12	37,2	19,94	32,9	24,42	27,48	32,44	16,33	14,52	20,47	44	16,85	36,9	38,5	18,46	29,57	22,14	20,29	28,59	19,69	22,57	26,29
R3	20,4	24,3	27,48	38,1	18,62	32,04	23,6	26,4	32,28	17,27	14,83	20,83	46,67	17,32	34,83	38,12	18,77	30,97	23,94	20,83	27,3	18,57	23,21	26
$\sum Xi$	60,68	72,98	80,4	113,8	57,64	98,54	72,1	81,68	96,96	50,33	44,25	62,5	138,6	51,87	105,8	115,2	55,91	92,42	69,42	61,63	83,42	57	68,69	78,92
xi	20,23	24,33	26,8	37,93	19,21	32,85	24,03	27,23	32,32	16,78	14,75	20,83	46,21	17,29	35,27	38,4	18,64	30,81	23,14	20,54	27,81	19	22,9	26,31

Tabla 9: Cenizas de la maltodextrina obtenida en los diferentes tratamientos

REPET.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24
R1	0,9	0,92	0,84	0,97	0,75	0,87	0,72	0,86	0,77	0,65	0,71	0,89	0,87	0,69	0,95	0,87	0,73	0,82	0,85	0,8	1,07	1,04	0,95	0,91
R2	0,92	0,97	0,88	0,96	0,75	0,8	0,68	0,84	0,77	0,63	0,7	0,82	0,85	0,64	0,92	0,89	0,71	0,84	0,87	0,83	1,02	0,98	0,87	0,94
R3	0,89	0,92	0,82	0,94	0,73	0,85	0,75	0,81	0,75	0,69	0,76	0,88	0,87	0,7	0,9	0,92	0,73	0,8	0,82	0,85	0,97	1,03	0,92	0,88
$\sum Xi$	2,71	2,81	2,54	2,87	2,23	2,52	2,15	2,51	2,29	1,97	2,17	2,59	2,59	2,03	2,77	2,68	2,17	2,46	2,54	2,48	3,06	3,05	2,74	2,73
xi	0,9	0,94	0,85	0,96	0,74	0,84	0,72	0,84	0,76	0,66	0,72	0,86	0,86	0,68	0,92	0,89	0,72	0,82	0,85	0,83	1,02	1,02	0,91	0,91

Tabla 10: Humedad de la maltodextrina obtenida en los diferentes tratamientos

REPET	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24
R1	5,01	5	5,35	6,05	4,56	5,11	5,1	5,42	5,25	3,33	4,08	4,36	5,96	3,7	5,75	5,87	3,92	5,01	4,26	4,34	5,3	3,82	4,3	5,99
R2	5,2	5,12	5,33	5,82	5,03	5,07	5,02	5,3	5,02	3,2	4,12	4,47	5,33	3,74	5,46	5,94	4,04	5,12	4,32	4,37	5,38	3,53	4,26	5,44
R3	5,08	5,04	5,25	6,07	4,88	5,1	5,26	5,5	5,36	3,31	4,1	4,53	5,73	3,55	5,81	5,78	3,96	5,06	4,25	4,3	5,21	3,69	4,18	5,87
$\sum Xi$	15,3	15,2	15,93	17,94	14,47	15,28	15,38	16,2	15,63	9,84	12,3	13,4	17	11	17	17,59	11,9	15,19	12,8	13,01	15,9	11	12,7	17,3
xi	5,1	5,05	5,31	5,98	4,823	5,093	5,127	5,41	5,21	3,28	4,1	4,45	5,67	3,66	5,67	5,863	3,97	5,063	4,28	4,337	5,3	3,68	4,25	5,767

Tabla 11: °Brix de la maltodextrina obtenido en los diferentes tratamientos

REPET.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24
R1	2,5	7,4	3,1	3,3	7,5	7,3	7,4	2,6	6,5	7,6	7	6,5	7,2	7,6	7	6,3	7,2	7,3	6,3	4,4	7,2	7,3	4,4	7,4
R2	2,9	7,4	3	3,7	7,5	7	7,1	3,1	6,2	7,3	7,4	6,8	7,1	7,3	7,4	6,1	7	7,4	6,1	4,2	7	7,1	4,3	7,2
R3	2,2	7,7	3,3	3,3	7,4	7,3	7,3	2,4	5,8	7,6	7,5	6,2	7,3	7,5	7,2	6,3	7,3	7,4	6,5	4,6	7,2	7,4	4,6	7,8
$\sum Xi$	7,6	23	9,4	10	22	22	22	8,1	19	23	22	20	21,6	22	22	19	22	22	19	13	21	22	13	22
xi	2,5	7,5	3,1	3,4	7,5	7,2	7,3	2,7	6,2	7,5	7,3	6,5	7,2	7,5	7,2	6,2	7,2	7,4	6,3	4,4	7	7,3	4,4	7,5

Tabla 12: Densidad de la maltodextrina obtenida en los diferentes tratamientos

REP.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24
R1	1,01 52	1,03 4	1,015	1,019 6	1,029 6	1,04	1,032 8	1,014	1,03 8	1,034 8	1,036 8	1,034 8	1,031 2	1,035 2	1,030 4	1,035 2	1,031 2	1,032 8	1,032 4	1,02	1,03 8	1,02 48	1,01 72	1,03 6
R2	1,01 56	1,03 32	1,014 9	1,019 2	1,027	1,038 7	1,034 2	1,012 9	1,03 8	1,036 2	1,035 7	1,031 1	1,030 9	1,034 4	1,028 8	1,034 7	1,030 3	1,033 6	1,031 2	1,015 6	1,03 5	1,02 21	1,01 06	1,02 8
R3	1,01 61	1,03 6	1,015 5	1,019 4	1,032 1	1,040 6	1,287	1,014 6	1,03 3	1,032 4	1,028 4	1,034	1,032 6	1,035 2	1,030 6	1,035	1,031 5	1,031 8	1,032	1,024	1,03 8	1,02 5	1,01 22	1,03 2
ΣXi	3,04 69	3,10 32	3,045 4	3,058 2	3,088 7	3,119 3	3,354	3,041 5	3,10 9	3,103 4	3,100 9	3,099 9	3,094 7	3,104 8	3,089 8	3,104 9	3,093	3,098 2	3,095 6	3,059 6	3,11 1	3,07 19	3,04	3,09 6
xi	1,01 56	1,03 44	1,015 1	1,019 4	1,029 6	1,039 8	1,118	1,013 8	1,03 6	1,034 5	1,033 6	1,033 3	1,031 6	1,034 9	1,029 9	1,035	1,031	1,032 7	1,031 9	1,019 9	1,03 7	1,02 4	1,01 33	1,03 2

Tabla 13: Equivalente dextrosa (DE) de la maltodextrina obtenido en los diferentes tratamientos

REPET.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24
R1	14,17	16,38	13,51	13,49	8,07	17,63	16,09	13,67	15,68	12,26	8,82	11,79	15,32	16,19	16,69	19,8	9,17	10,53	16,24	6,84	16,87	9,16	14,38	17,88
R2	14,02	16,44	13,64	13,62	8,11	17,6	16,71	13,48	15,27	11,69	8,42	12,31	15,41	15,96	16,73	19,1	8,91	10,51	15,97	7,2	16	8,59	13,87	17,83
R3	14,61	16,58	13,22	13,53	8,14	17,58	16,48	13,54	15,26	12,37	9,18	11,49	15,15	16,32	16,31	19,6	9,23	10,7	16,19	7,06	16,44	8,97	14,52	17,57
ΣXi	42,8	49,4	40,37	40,64	24,32	52,81	49,28	27,02	46,21	36,32	26,4	35,59	45,88	48,47	49,73	58,5	27,3	31,74	48,4	21,1	49,31	26,72	42,77	53,28
xi	14,27	16,47	13,46	13,55	8,107	17,6	16,43	9,007	15,4	12,11	8,81	11,86	15,29	16,16	16,58	19,5	9,1	10,58	16,13	7,03	16,44	8,907	14,26	17,76

Tabla 14: Capacidad de retención de agua (CRA) de la maltodextrina obtenida en los diferentes tratamientos

REP.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24
R1	60	62,5	56,75	45,4	68,2 5	56,2 5	67,5	56,25	65,25	78,25	68,75	66,25	45,7 5	80,2 5	66,5	62,75	81,25	68,5	78,25	72,25	67,8	87,5	70,2 5	54,1 5
R2	56,25	54,25	56,25	50,5	62	62	68,75	62,5	67,5	81,25	62,5	62,25	62,5	68,7 5	68,7 5	62,5	80,55	65,25	75,25	70,55	66,5	85,2 5	72,2 5	60,5 5
R3	58,5	62	56,25	45,75	60,2 5	56,2 5	62,5	54,1	56,7	78,75	67,5	60,25	56,2 5	81,5	65,2 5	66,5	81,25	67,5	78,75	77,5	68,7 5	87,5	75	56,2 5
$\sum X_i$	174,7 5	178,7 5	169,2 5	141,6 5	190, 5	174, 5	198,7 5	172,8 5	189,4 5	238,2 5	198,7 5	188,7 5	164, 5	230, 5	200, 5	191,7 5	243,0 5	201,2 5	232,2 5	220,3	203, 05	260, 25	217, 5	170, 95
xi	58,25	59,58 3	56,41 7	47,21 7	63,5	58,1 7	66,25	57,61 7	63,15	79,41 7	66,25	62,91 7	54,8 3	76,8 3	66,8 3	63,91 7	81,01 7	67,08 3	77,41 7	73,43	67,6 83	86,7 5	72,5	56,9 83

Tabla 15: Viscosidad de la maltodextrina a 20°C obtenida en los diferentes tratamientos

REP	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24
R1	17.7	16.84	18.5	17.5	15.4	19.02	17.16	17.5	15.8	20	18.4	15.6	19.3	16.67	16.3	17.24	18	17.5	15.6	18.75	19.5	16.8	16.44	17.15
R2	17.41	16	18.2	17.05	16.33	19.35	17.9	17.28	16.2	19.5	17.7	15.42	19.3	16.8	16.36	18.3	18.02	17.4	16.5	17.5	19.5	16.12	17.06	17.8
R3	17	16	18.3	17.2	15.8	18.7	17.1	17.4	15.74	19.3	18.14	15.8	18.2	16.41	15.7	17.2	17.09	17.65	16.5	17	19.75	16.5	16.8	17.62
$\sum xi$	52.11	48.84	55	51.75	47.53	57.07	52.16	52.18	47.74	58.8	54.24	46.82	56.8	49.88	48.36	52.74	53.11	52.55	48.6	53.25	58.75	49.42	50.3	52.57
xi	17.37	16.28	18.3	17.25	15.84	19.02	17.39	17.39	15.91	19.6	18.08	15.61	18.9	16.63	16.12	17.58	17.7	17.52	16.2	17.75	19.58	16.47	16.767	17.52

Tabla 16: Viscosidad de la maltodextrina a 30 °C obtenida en los diferentes tratamientos

REP	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24
R1	14,7	15,7	15,9	14,3	13,9	17,3	14,4	14,6	13,2	17	15,3	12,8	16,4	13,4	13,15	14,2	15,1	14,2	12,3	14,32	15,1	12,1	12,9	13
R2	14,06	15,24	16	14,3	14,6	17,08	14,8	13,87	14,5	16,7	14,9	13,25	16	12,9	14	14,2	14,75	14,05	13,8	13,5	14,8	13,5	13,7	13,5
R3	13,92	15,3	16,1	13,7	14,5	17,5	14	14,2	13,1	16,2	15	13,3	15,8	13,6	12,9	13,8	13,7	14,6	13,4	13,1	14,6	13,7	13,25	13,8
$\sum xi$	42,68	46,24	48	42,3	43	51,88	43,2	42,67	40,8	50	45,2	39,35	48,2	39,9	40,05	42,2	43,55	42,85	39,5	40,92	44,5	39,3	39,85	40,3
xi	14,23	15,41	16	14,1	14,33	17,29	14,4	14,22	13,6	16,7	15,07	13,12	16,1	13,3	13,35	14,07	14,52	14,28	13,2	13,64	14,83	13,1	13,283	13,43

Tabla 17: Viscosidad de la maltodextrina a 40 °C obtenida en los diferentes tratamientos

REP	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24
R1	11,3	12,4	11,8	11,47	10,4	13,6	11,8	11,1	10,4	14,2	12,6	9,6	12,8	11,6	11,48	8,55	12,7	10,4	9,8	11,5	10,85	8,6	7,82	8,3
R2	11	11,85	12,3	11,36	11,8	14	10,92	10,92	11,36	12,7	11,75	10,9	12,3	9,8	11,7	8,1	11,4	9,32	10,4	10,3	9,3	8,8	10,6	8,72
R3	11,75	12,2	12,7	9,78	11,3	14,2	11,4	11,4	11,06	12,3	12	10,9	11,4	11,7	10,6	9,3	10,2	10,8	8,6	9,7	9,9	10,4	9,35	9,4
Σxi	34,05	36,45	36,8	32,61	33,5	41,8	34,12	33,42	32,82	39,2	36,35	31,4	36,5	33,1	33,78	25,95	34,3	30,52	28,8	31,5	30,05	27,8	27,77	26,42
xi	11,35	12,15	12,3	10,87	11,17	13,93	11,37	11,14	10,94	13,1	12,12	10,47	12,2	11,03	11,26	8,65	11,43	10,17	9,6	10,5	10,02	9,267	9,2567	8,807

Tabla 18: Viscosidad de la maltodextrina a 50 °C obtenida en los diferentes tratamientos

REP	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24
R1	6,7	5,8	5,32	5	4,3	6,2	5,7	6	5,3	7,1	5,3	4,3	6,02	5,7	6	3,2	6,15	5,3	4,3	4,5	5,2	3,5	3,1	3,25
R2	5,85	6,2	6,1	5,4	5,1	6,85	5,2	5,08	6,2	6,25	5	4,9	5,7	6,55	6	3,3	5,8	4,25	4,72	4,3	4,8	3,8	4,3	3,25
R3	7,1	5,4	6	3,8	5,1	6,9	5,5	5,35	6	6,7	5,8	4,65	5,3	4,7	5,3	4	4,7	5,42	3,6	4,2	4,6	4,35	4	3,5
Σxi	19,65	17,4	17,4	14,2	14,5	19,95	16,4	16,43	17,5	20,1	16,1	13,85	17	16,95	17,3	10,5	16,65	14,97	12,6	13	14,6	11,65	11,4	10
xi	6,55	5,8	5,81	4,733	4,833	6,65	5,467	5,477	5,833	6,68	5,367	4,617	5,67	5,65	5,767	3,5	5,55	4,99	4,21	4,333	4,867	3,883	3,8	3,333

ANEXO 5

RESULTADO DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RENDIMIENTO DE MALTODEXTRINA OBTENIDO EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS, EMPLEANDO STATGRAPHICS 5.0 PLUS (STATISTICAL GRAPHICS SYSTEM)

Tabla 19: Análisis de la Varianza para Rendimiento - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Cociente - F	P- Valor	Significancia al 95%
A: Concentración de Almidón	213,247	2	106,623	197,70	0,0000	*
B: Concentración de Enzima	339,926	3	113,309	210,10	0,0000	*
C: Tiempo de Reacción	0,119235	1	0,119235	0,22	0,6403	n.s
AB	1258,85	6	209,809	389,03	0,0000	*
AC	857,753	2	428,876	795,23	0,0000	*
BC	444,613	3	148,204	274,80	0,0000	*
ABC	1256,02	6	209,337	388,16	0,0000	*
Residuos	25,887	48	0,539312			
TOTAL (Corregido)	4396,42	71				

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

* Indica una Diferencia Significativa.

Tabla 20: Contraste múltiple de rangos para Rendimiento según Concentración de Almidón (%).

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
35	24	23,6421	0,149904	a
25	24	26,5750	0,149904	b
30	24	27,7308	0,149904	c

Contraste	Diferencias	+/- Límites
25 - 30	*-1,15583	0,51277
25 - 35	*2,93292	0,51277
30 - 35	*4,08875	0,51277

* indica una diferencia significativa.

Tabla 21: Contraste Múltiple de Rangos para Rendimiento según Concentración de Enzima (%).

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0,05	18	23,8489	0,173095	a
0,10	18	23,9989	0,173095	a
0,15	18	27,0617	0,173095	b
0,20	18	29,0211	0,173095	c

Contraste	Diferencias	+/- Límites
0,05 - 0,10	-0,15	0,6515
0,05 - 0,15	*-3,2127	0,6515
0,05 - 0,20	*-5,1722	0,6515
0,10 - 0,15	*-3,0627	0,6515
0,10 - 0,20	*-5,0222	0,6515
0,15 - 0,20	*-1,9594	0,6515

* indica una diferencia significativa.

Tabla 22: Contraste múltiple de rangos para Rendimiento según Tiempo de reacción (h).

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel(h)	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	36	25,9419	0,122396	a
2	36	26,0233	0,122396	a

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	-0,0813889	0,348031

Tabla 23: Medias por mínimos cuadrados para rendimiento (%) con intervalos de confianza

95.0 %, definido por la prueba de HSD Tukey.

Nivel	Frecuencia	Media	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Media total	72	25,9826			
Concentración de almidón					
25	24	26,575	0,149904	26,2736	26,8764
30	24	27,7308	0,149904	27,4294	28,0322
35	24	23,6421	0,149904	23,3407	23,9435
Concentración de enzima					
0,05	18	23,8489	0,173095	23,5009	24,1969
0,10	18	23,9989	0,173095	23,6509	24,3469
0,15	18	27,0617	0,173095	26,7136	27,4097
0,20	18	29,0211	0,173095	28,6731	29,3691
Tiempo de reacción					
1	36	25,9419	0,122396	25,6958	26,188
2	36	26,0233	0,122396	25,7772	26,2694
Concentración de Almidón según Concentración de Enzima					
25 (0,05)	6	22,2767	0,299809	21,6739	22,8795
25 (0,10)	6	32,3633	0,299809	31,7605	32,9661
25 (0,15)	6	26,03	0,299809	25,4272	26,6328

25 (0,20)	6	25,63	0,299809	25,0272	26,2328
30 (0,05)	6	24,6017	0,299809	23,9455	25,1511
30 (0,10)	6	17,7917	0,299809	17,1889	18,3945
30 (0,15)	6	31,7517	0,299809	31,1489	32,3545
30 (0,20)	6	36,8317	0,299809	36,2289	37,4345
35 (0,05)	6	24,7217	0,299809	24,1189	25,3245
35 (0,10)	6	21,8417	0,299809	21,2389	22,4445
35 (0,15)	6	23,4033	0,299809	22,8005	24,0061
35 (0,20)	6	24,5483	0,299809	23,9989	25,2045

Concentración de Almidón según Tiempo de Reacción

25 (1)	12	22,5683	0,211997	22,1421	22,9946
25 (2)	12	30,5817	0,211997	30,1554	31,0079
30 (1)	12	32,1375	0,211997	31,7113	32,5637
30 (2)	12	23,3242	0,211997	22,8979	23,7504
35 (1)	12	23,12	0,211997	22,6938	23,5462
35 (2)	12	24,1642	0,211997	23,7379	24,5904

Concentración de Enzima según Tiempo de Reacción

0,05 (1)	9	23,7278	0,244793	23,2356	24,22
0,05 (2)	9	23,9700	0,244793	23,4778	24,4622
0,1 (1)	9	21,5633	0,244793	21,0711	22,0555
0,1 (2)	9	26,4344	0,244793	25,9423	26,9266
0,15 (1)	9	31,0778	0,244793	30,5856	31,57
0,15 (2)	9	23,0456	0,244793	22,5534	23,5377
0,2 (1)	9	27,3989	0,244793	26,9067	27,8911
0,2 (2)	9	30,6433	0,244793	30,1511	31,1355

ANEXO 6

**RESULTADO DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE °BRIX DE LA
MALTODEXTRINA OBTENIDA EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS,
EMPLEANDO STATGRAPHICS 5.0 PLUS (STATISTICAL GRAPHICS
SYSTEM)**

Tabla 24: Análisis de la Varianza para °Brix - Sumas de Cuadrados de Tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Cociente - F	P- Valor	Significancia al 95%
A: Concentración de Almidón	34,9075	2	17,4537	387,86	0,0000	*
B: Concentración de Enzima	33,7015	3	11,2338	249,64	0,0000	*
C: Tiempo de Reacción	1,25347	1	1,25347	27,85	0,0000	*
AB	32,4981	6	5,41634	120,36	0,0000	*
AC	0,225278	2	0,112639	2,50	0,0925	n.s
BC	27,1037	3	9,03458	200,77	0,0000	*
ABC	68,6092	6	11,4349	254,11	0,0000	*
Residuos	2,16	48	0,045			
TOTAL (Corregido)	200,459	71				

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

* Indica una Diferencia Significativa.

Tabla 25: Contraste múltiple de rangos para °Brix según Concentración de Almidón.

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
25	24	5,15417	0,0433013	a
35	24	6,44167	0,0433013	b
30	24	6,76667	0,0433013	c

Contraste	Diferencias	+/- Límites
25 - 30	*-1,6125	0,148118
25 - 35	*0,325	0,148118
30 - 35	*-1,2875	0,148118

* indica una diferencia significativa.

Tabla 26: Contraste Múltiple de Rangos para °Brix según Concentración de Enzima

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0,1	18	5,17778	0,05	a
0,2	18	5,88333	0,05	b
0,5	18	6,37222	0,05	c
0,05	18	7,05	0,05	d

Contraste	Diferencias	+/- Límites
0,05 - 0,10	*1,19444	0,1882
0,05 - 0,15	*-0,677778	0,1882
0,05 - 0,20	*0,488889	0,1882
0,10 - 0,15	*-1,87222	0,1882
0,10 - 0,20	*-0,705556	0,1882
0,15 - 0,20	*1,16667	0,1882

* indica una diferencia significativa.

Tabla 27: Contraste Múltiple de Rangos para °Brix según Tiempo de Reacción

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	36	5,98889	0,0353553	a
2	36	6,25278	0,0353553	b

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	*-0,263889	0,100532

* indica una diferencia significativa.

Tabla 28: Medias por mínimos cuadrados para °Brix con intervalos de confianza 95.0 %, definido por la prueba de HSD Tukey.

Nivel	Frecuencia	Media	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Media Total	72	6,12083			
Concentración de almidón					
25	24	5,15417	0,0433013	5,0671	5,24123
30	24	6,76667	0,0433013	6,6796	6,85373
35	24	6,44167	0,0433013	6,3546	6,52873
Concentración de enzima					
0,05	18	6,37222	0,05	6,27169	6,47275
0,2	18	5,17778	0,05	5,07725	5,27831
0,1	18	7,05	0,05	6,94947	7,15053
0,15	18	5,88333	0,05	5,7828	5,98387
Tiempo de reacción					
1	36	5,98889	0,0353553	5,9178	6,05998
2	36	6,25278	0,0353553	6,18169	6,32386
Concentración de Almidón según Concentración de Enzima					
25 (0,05)	6	5,01667	0,0866025	4,84254	5,19079
25 (0,1)	6	3,28333	0,0866025	3,10921	3,45746
25 (0,15)	6	7,33333	0,0866025	7,15921	7,50746
25 (0,2)	6	4,98333	0,0866025	4,80921	5,15746
30 (0,05)	6	6,83333	0,0866025	6,65921	7,00746
30 (0,1)	6	6,9	0,0866025	6,72587	7,07413
30 (0,15)	6	6,61667	0,0866025	6,44254	6,79079
30 (0,2)	6	6,71667	0,0866025	6,54254	6,89079
35 (0,05)	6	5,35	0,0866025	7,09254	7,44079
35 (0,1)	6	7,26667	0,0866025	5,17587	5,52413

35 (0,15)	6	7,2	0,0866025	7,02587	7,37413
35 (0,2)	6	5,95	0,0866025	5,77587	6,12413
Concentración de Almidón según Tiempo de Reacción					
25 (1)	12	5,1	0,0612372	4,97687	5,22313
25 (2)	12	5,20833	0,0612372	5,08521	5,33146
30 (1)	12	6,60833	0,0612372	6,48521	6,73146
30 (2)	12	6,925	0,0612372	6,80187	7,04813
35 (1)	12	6,25833	0,0612372	6,13521	6,38146
35 (2)	12	6,625	0,0612372	6,50187	6,74813
Tiempo de reacción según concentración de enzima					
1 (0,05)	9	5,28889	0,0707107	5,14672	5,43106
1 (0,1)	9	5,57778	0,0707107	5,4356	5,71995
1 (0,15)	9	6,78889	0,0707107	6,64672	6,93106
1 (0,2)	9	6,3	0,0707107	6,15783	6,44217
2 (0,05)	9	7,45556	0,0707107	7,31338	7,59773
2 (0,1)	9	4,77778	0,0707107	4,6356	4,91995
2 (0,15)	9	7,31111	0,0707107	7,16894	7,45328
2 (0,2)	9	5,46667	0,0707107	5,32449	5,60884

ANEXO 7

**RESULTADO DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE EQUIVALENTE
 DEXTROSA (DE) DE LA MALTODEXTRINA OBTENIDA EN LOS
 DIFERENTES TRATAMIENTOS, EMPLEANDO STATGRAPHICS 5.0 PLUS
 (STATISTICAL GRAPHICS SYSTEM)**

Tabla 29: Análisis de la Varianza para Equivalente dextrosa (DE) - Sumas de
 Cuadrados de Tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Cociente - F	P- Valor	Significancia al 95%
A: Concentración de Almidón	52,5602	2	26,2801	417,63	0,0000	*
B: Concentración de Enzima	199,908	3	66,6361	1058,95	0,0000	*
C: Tiempo de Reacción	0,08542	1	0,0854222	1,36	0,2497	n.s
AB	138,920	6	23,1534	367,94	0,0000	*
AC	85,405	2	42,7025	678,61	0,0000	*
BC	28,0848	3	9,36159	148,77	0,0000	*
ABC	316,534	6	52,7557	838,37	0,0000	*
Residuos	3,02047	48	0,0629264			
TOTAL (Corregido)	824,519	71				

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

* Indica una Diferencia Significativa.

Tabla 30: Contraste múltiple de rangos para Equivalente dextrosa (DE) según
Concentración de Almidón (%).

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
35	24	12,5262	0,0512048	a
25	24	14,1796	0,0512048	b
30	24	14,4642	0,0512048	c

Contraste	Diferencias	+/- Límites
25 -30	*-0,284583	0,175153
25 - 35	*1,65333	0,175153
30 - 35	*1,93792	0,175153

* indica una diferencia significativa.

Tabla 31: Contraste Múltiple de Rangos para Equivalente Dextrosa (DE) según
Concentración de Enzima (%).

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0,1	18	11,8067	0,0591262	a
0,05	18	12,9878	0,0591262	b
0,15	18	13,7506	0,0591262	c
0,2	18	16,3483	0,0591262	d

Contraste	Diferencias	+/- Límites
0,05 - 0,1	*1,18111	0,222551
0,05 - 0,15	*-0,762778	0,222551
0,05 - 0,2	*-3,36056	0,222551
0,1 -0,15	*-1,94389	0,222551
0,1 - 0,2	*-4,54167	0,222551
0,15 - 0,2	*-2,59778	0,222551

* indica una diferencia significativa.

Tabla 32: Contraste Múltiple de Rangos para Equivalente dextrosa (DE) según Tiempo de Reacción (h).

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	36	13,6889	0,0418086	a
2	36	13,7578	0,0418086	a

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	-0,0688889	0,118881

* indica una diferencia significativa (En este caso No Existe).

Tabla 33: Medias por mínimos cuadrados para Equivalente dextrosa (DE) con intervalos de confianza 95.0 %, definido por la prueba de HSD Tukey.

Nivel	Frecuencia	Media	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Media total	72	13,7233			
Concentración de almidón					
25	24	14,1796	0,0512048	14,0766	14,2825
30	24	14,4642	0,0512048	14,3612	14,5671
35	24	12,5262	0,0512048	12,4233	12,6292
Concentración de enzima					
0.05	18	12,9878	0,0591262	12,8689	13,1067
0.10	18	11,8067	0,0591262	11,6878	11,9255
0.15	18	13,7506	0,0591262	13,6317	13,8694
0.20	18	16,3483	0,0591262	16,2295	16,4672
Tiempo de reacción					
1	36	13,6889	0,0418086	13,6048	13,773
2	36	13,7578	0,0418086	13,6737	13,8418
Concentración de Almidón según Concentración de Enzima					
25 (0.05)	6	15,3667	0,10241	15,1608	15,5726

25 (0.10)	6	13,5017	0,10241	13,2958	13,7076
25 (0.15)	6	12,855	0,10241	12,6491	13,0609
25 (0.20)	6	14,995	0,10241	14,7891	15,2009
30 (0.05)	6	13,755	0,10241	13,5491	13,9609
30 (0.10)	6	10,335	0,10241	10,1291	10,5409
30 (0.15)	6	15,725	0,10241	15,5191	15,9309
30 (0.20)	6	18,0417	0,10241	17,8358	18,2476
35 (0.05)	6	9,84167	0,10241	9,63576	10,0476
35 (0.10)	6	11,5833	0,10241	11,3774	11,7892
35 (0.15)	6	12,6717	0,10241	12,4658	12,8776
35 (0.20)	6	16,0083	0,10241	15,8024	16,2142

Concentración de Almidón según Tiempo de Reacción

25 (1)	12	13,0642	0,0724145	12,9186	13,2098
25 (2)	12	15,295	0,0724145	15,1494	15,4406
30 (1)	12	14,02	0,0724145	13,8744	14,1656
30 (2)	12	14,9083	0,0724145	14,7627	15,0539
35 (1)	12	13,9825	0,0724145	13,8369	14,1281
35 (2)	12	11,07	0,0724145	10,9244	11,2156

Concentración de Enzima según Tiempo de Reacción

0.05 (1)	9	12,9244	0,0836171	12,7563	13,0926
0.05 (2)	9	13,0511	0,0836171	12,883	13,2192
0.1 (1)	9	12,7989	0,0836171	12,6308	12,967
0.1 (2)	9	10,8144	0,0836171	10,6463	10,9826
0.15 (1)	9	13,2789	0,0836171	13,1108	13,447
0.15 (2)	9	14,2222	0,0836171	14,0541	14,3903
0.2 (1)	9	15,7533	0,0836171	15,5852	15,9215
0.2 (2)	9	16,9433	0,0836171	16,7752	17,1115

ANEXO 8

RESULTADO DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA (CRA) DE LA MALTODEXTRINA OBTENIDA EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS, EMPLEANDO STATGRAPHICS 5.0 PLUS (STATISTICAL GRAPHICS SYSTEM)

Tabla 34: Análisis de la Varianza para Capacidad de retención de agua - Sumas de
Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Cociente - F	P- Valor	Significancia al 95%
A: Concentración de Almidón	2538,44	2	1269,22	96,61	0,0000	*
B: Concentración de Enzima	294,418	3	98,1395	7,47	0,0003	*
C: Tiempo de Reacción	2,18753	1	2,18753	0,17	0,6851	n.s
AB	802,793	6	133,799	10,18	0,0000	*
AC	638,373	2	319,187	24,29	0,0000	*
BC	1145,67	3	381,891	29,07	0,0000	*
ABC	871,659	6	145,277	11,06	0,0000	*
Residuos	630,623	48	13,138			
TOTAL (Corregido)	6924,17	71				

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

* Indica una Diferencia Significativa.

Tabla 35: Contraste múltiple de rangos para Capacidad de retención de agua según

Concentración de Almidón (%).

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
25	24	58,375	0,739876	a
30	24	66,7688	0,739876	b
35	24	72,8583	0,739876	c

Contraste	Diferencias	+/- Límites
25 - 30	*-8,39375	2,53085
25 - 35	*-14,4833	2,53085
30 - 35	*-6,08958	2,53085

* indica una diferencia significativa.

Tabla 36: Contraste múltiple de rangos para Capacidad de retención de agua según

Concentración de enzima (%)

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0,1	18	63,9417	0,854335	a
0,2	18	64,0167	0,854335	a
0,15	18	67,9611	0,854335	b
0,05	18	68,0833	0,854335	b

Contraste	Diferencias	+/- Límites
0,05 - 0,10	*4,1416	3,21572
0,05 - 0,15	0,1222	3,21572
0,05 - 0,20	*4,0666	3,21572
0,10 - 0,15	*-4,0194	3,21572
0,10 - 0,20	-0,075	3,21572
0,15 - 0,20	*3,94444	3,21572

* indica una diferencia significativa.

Tabla 37: Contraste múltiple de rangos para Capacidad de retención de agua según

Tiempo de reacción

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	36	65,8264	0,604106	a
1	36	66,175	0,604106	a

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	0,348611	1,71776

* indica una diferencia significativa (En este caso no existe).

Tabla 38: Medias por mínimos cuadrados para Capacidad de retención de agua con intervalos

de confianza 95.0 %, definido por la prueba de HSD Tukey.

Nivel	Frecuencia	Media	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Media total	72	66,0007			
Concentración de almidón					
25	24	58,375	0,739876	56,8874	59,8626
30	24	66,7688	0,739876	65,2811	68,2564
35	24	72,8583	0,739876	71,3707	74,346
Concentración de enzima					
0,05	18	68,0833	0,854335	66,3656	69,8011
0,10	18	63,9417	0,854335	62,2239	65,6594
0,15	18	67,9611	0,854335	66,2434	69,6789
0,20	18	64,0167	0,854335	62,2989	65,7344
Tiempo de reacción					
1	36	66,175	0,604106	64,9604	67,3896
2	36	65,8264	0,604106	64,6117	67,041
Concentración de Almidón según Concentración de Enzima					
25 (0,05)	6	58,9167	1,47975	55,9414	61,8919

25 (0,10)	6	51,8167	1,47975	48,8414	54,7919
25 (0,15)	6	60,8333	1,47975	57,8581	63,8086
25 (0,20)	6	61,9333	1,47975	58,9581	64,9086
30 (0,05)	6	71,2833	1,47975	68,3081	74,2586
30 (0,10)	6	64,5833	1,47975	61,6081	67,5586
30 (0,15)	6	65,8333	1,47975	62,8581	68,8086
30 (0,20)	6	65,375	1,47975	62,3998	68,3502
35 (0,05)	6	74,05	1,47975	71,0748	77,0252
35 (0,10)	6	75,425	1,47975	72,4498	78,4002
35 (0,15)	6	77,2167	1,47975	74,2414	80,1919
35 (0,20)	6	64,7417	1,47975	61,7664	67,7169

Concentración de Almidón según Tiempo de Reacción

25 (1)	12	61,1042	1,04634	59,0004	63,208
25 (2)	12	55,6458	1,04634	53,542	57,7496
30 (1)	12	62,7667	1,04634	60,6629	64,8705
30 (2)	12	70,7708	1,04634	68,667	72,8746
35 (1)	12	74,6542	1,04634	72,5504	76,758
35 (2)	12	71,0625	1,04634	68,9587	73,1663

Concentración de Enzima según Tiempo de Reacción

0,05 (1)	9	67,4722	1,20821	65,0429	69,9015
0,05 (2)	9	68,6944	1,20821	66,2652	71,1237
0,1 (1)	9	66,6944	1,20821	64,2652	69,1237
0,1 (2)	9	61,1889	1,20821	58,7596	63,6182
0,15 (1)	9	62,0056	1,20821	59,5763	64,4348
0,15 (2)	9	73,9167	1,20821	71,4874	76,3459
0,2 (1)	9	68,5278	1,20821	66,0985	70,9571
0,2 (2)	9	59,5056	1,20821	57,0763	61,9348

ANEXO 9

**RESULTADO DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VISCOSIDAD DE LA
MALTODEXTRINA OBTENIDA EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS,
EMPLEANDO STATGRAPHICS 5.0 PLUS (STATISTICAL GRAPHICS
SYSTEM)**

Tabla 39: Análisis de la Varianza para Viscosidad (cp) a 20 °C - Sumas de Cuadrados
de Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Cociente - F	P- Valor	Significancia al 95%
A: Concentración de Almidón	0,214369	2	0,107185	0,64	0,5320	n.s
A: Concentración de Enzima	4,05064	3	1,35021	8,06	0,0002	*
C: Tiempo de Reacción	0,0224014	1	0,0224014	0,13	0,7163	n.s
AB	7,97728	6	1,32955	7,93	0,0000	*
AC	0,806369	2	0,403185	2,41	0,1010	n.s
BC	9,79395	3	3,26465	19,48	0,0000	*
ABC	68,173	6	11,3622	67,79	0,0000	*
Residuos	8,04493	48	0,167603			
TOTAL (Corregido)	99,0829	71				

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

* Indica una Diferencia Significativa.

Tabla 40: Contraste múltiple de rangos para Viscosidad según Concentración de almidón

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
30	24	17,3075	0,083567	a
25	24	17,3558	0,083567	a
35	24	17,4396	0,083567	a

Contraste	Diferencias	+/- Límites
25 -30	0,0483333	0,285853
25 -35	-0,08375	0,285853
30 -35	-0,132083	0,285853

* indica una diferencia significativa.

Tabla 41: Contraste múltiple de rangos para Viscosidad según Concentración de enzima

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0,2	18	17,1283	0,0964949	a
0,1	18	17,2033	0,0964949	a
0,05	18	17,3972	0,0964949	ab
0,15	18	17,7417	0,0964949	b

Contraste	Diferencias	+/- Límites
0,05 - 0,1	0,193889	0,363207
0,05 - 0,15	-0,344444	0,363207
0,05 - 0,20	0,268889	0,363207
0,1 - 0,15	*-0,538333	0,363207
0,1 - 0,2	0,075	0,363207
0,15 - 0,2	*0,613333	0,363207

* indica una diferencia significativa.

Tabla 42: Contraste múltiple de rangos para Viscosidad según Tiempo de reacción

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	36	17,35	0,0682322	a
2	36	17,3853	0,0682322	a

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	-0,0352778	0,194016

* indica una diferencia significativa.

Tabla 43: Medias por mínimos cuadrados para Viscosidad (cp) a 20 °C con intervalos de confianza 95.0 %, definido por la prueba de HSD Tukey.

Nivel	Frecuencia	Media	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Media total	72	173676			
Concentración de almidón					
25	24	17,3558	0,083567	17,1878	17,5239
30	24	17,3075	0,083567	17,1395	17,4755
35	24	17,4396	0,083567	17,2716	17,6076
Concentración de enzima					
0,05	18	17,3972	0,0964949	17,2032	17,5912
0,10	18	17,2033	0,0964949	17,0093	17,3973
0,15	18	17,7417	0,0964949	17,5477	17,9357
0,20	18	17,1283	0,0964949	16,9343	17,3223
Tiempo de reacción					
1	36	17,35	0,0682322	17,2128	17,4872
2	36	17,3853	0,0682322	17,2481	17,5225
Concentración de Almidón según Concentración de Enzima					
25 (0,05)	6	16,825	0,167134	16,489	17,161
25 (0,10)	6	17,7917	0,167134	17,4556	18,1277
25 (0,15)	6	17,4167	0,167134	17,0806	17,7527

25 (0,20)	6	17,39	0,167134	17,054	17,726
30 (0,05)	6	17,7567	0,167134	17,4206	18,0927
30 (0,10)	6	16,8433	0,167134	16,5073	17,1794
30 (0,15)	6	17,78	0,167134	17,444	18,116
30 (0,20)	6	16,85	0,167134	16,514	17,186
35 (0,05)	6	17,61	0,167134	17,274	17,946
35 (0,10)	6	16,975	0,167134	16,639	17,311
35 (0,15)	6	18,0283	0,167134	17,6923	18,3644
35 (0,20)	6	17,145	0,167134	16,809	17,481

Concentración de Almidón según Tiempo de Reacción

25 (1)	12	17,225	0,118182	16,9874	17,4626
25 (2)	12	17,4867	0,118182	17,249	17,7243
30 (1)	12	17,2617	0,118182	17,024	17,4993
30 (2)	12	17,3533	0,118182	17,1157	17,591
35 (1)	12	17,5633	0,118182	17,3257	17,801
35 (2)	12	17,3158	0,118182	17,0782	17,5535

Concentración de Enzima según Tiempo de Reacción

0,05 (1)	9	16,9956	0,136464	16,7212	17,2699
0,05 (2)	9	17,7989	0,136464	17,5245	18,0733
0,1 (1)	9	17,5378	0,136464	17,2634	17,8122
0,1 (2)	9	16,8689	0,136464	16,5945	17,1433
0,15 (1)	9	18,1089	0,136464	17,8345	18,3833
0,15 (2)	9	17,3744	0,136464	17,1001	17,6488
0,2 (1)	9	16,7578	0,136464	16,4834	17,0322
0,2 (2)	9	17,4989	0,136464	17,2245	17,7733

Tabla 44: Análisis de la varianza para Viscosidad (cP) a 30 °C - Sumas de Cuadrados de

Tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Cociente - F	P- Valor	Significancia al 95%
A: Concentración de Almidón	17,8262	2	8,91308	41,62	0,0000	*
A: Concentración de Enzima	13,2932	3	4,43108	20,69	0,0000	*
C: Tiempo de Reacción	0,00435556	1	0,00435556	0,02	0,8872	n.s
AB	5,2625	6	0,877083	4,10	0,0021	*
AC	2,58684	2	1,29342	6,04	0,0046	*
BC	15,0655	3	5,02182	23,45	0,0000	*
ABC	39,8443	6	6,64071	31,01	0,0000	*
Residuos	10,2805	48	0,214178			
TOTAL (Corregido)	104,163	71				

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

* Indica una Diferencia Significativa.

Tabla 45: Contraste múltiple de rangos para Viscosidad (Cp) a 30 °C según

Concentración de almidón

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
35	24	13,78	0,0944673	a
30	24	14,4004	0,0944673	b
25	24	14,9988	0,0944673	c

Contraste	Diferencias	+/- Límites
25 -30	*0,598333	0,323139
25 - 35	*1,21875	0,323139
30 - 35	*0,620417	0,323139

* indica una diferencia significativa.

Tabla 46: Contraste múltiple de rangos para Viscosidad (cp) a 30 °C según

Concentración de Enzima

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0,2	18	13,7928	0,109081	a
0,1	18	14,1789	0,109081	a
0,05	18	14,7822	0,109081	b
0,15	18	14,8183	0,109081	b

Contraste	Diferencias	+/- Límites
0,05 – 0,1	*0,603333	0,410583
0,05 – 0,15	-0,0361111	0,410583
0,05 – 0,20	*0,989444	0,410583
0,1 – 0,15	*-0,639444	0,410583
0,1 – 0,2	0,386111	0,410583
0,15 – 0,2	*1,02556	0,410583

* indica una diferencia significativa.

Tabla 47: Contraste múltiple de rangos para viscosidad a 30°C según Tiempo de reacción

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	36	14,3853	0,0771322	a
1	36	14,4008	0,0771322	a

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	0,0155556	0,219323

* indica una diferencia significativa.

Tabla 48: Medias por mínimos cuadrados para Viscosidad (cp) a 30 °C con intervalos de confianza 95.0 %, definido por la prueba de HSD Tukey.

Nivel	Frecuencia	Media	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Media total	72	14,3931			
Concentración de almidón					
25	24	14,9988	0,0944673	14,8088	15,1887
30	24	14,4004	0,0944673	14,2105	14,5904
35	24	13,78	0,0944673	13,5901	13,9699
Concentración de enzima					
0,05	18	14,7822	0,109081	14,5629	15,0015
0,10	18	14,1789	0,109081	13,9596	14,3982
0,15	18	14,8183	0,109081	14,599	15,0377
0,20	18	13,7928	0,109081	13,5735	14,0121
Tiempo de reacción					
1	36	14,4008	0,0771322	14,2457	14,5559
2	36	14,3853	0,0771322	14,2302	14,5404
Concentración de Almidón según Concentración de Enzima					
25 (0,05)	6	14,82	0,188935	14,4401	15,1999
25 (0,10)	6	15,05	0,188935	14,6701	15,4299
25 (0,15)	6	15,8133	0,188935	15,4335	16,1932
25 (0,20)	6	14,3117	0,188935	13,9318	14,6915
30 (0,05)	6	15,1267	0,188935	14,7468	15,5065
30 (0,10)	6	14,0917	0,188935	13,7118	14,4715
30 (0,15)	6	14,675	0,188935	14,2951	15,0549
30 (0,20)	6	13,7083	0,188935	13,3285	14,0882
35 (0,05)	6	14,4	0,188935	14,0201	14,7799
35 (0,10)	6	13,395	0,188935	13,0151	13,7749
35 (0,15)	6	13,9667	0,188935	13,5868	14,3465
35 (0,20)	6	13,3583	0,188935	12,9785	13,7382
Concentración de Almidón según Tiempo de Reacción					
25 (1)	12	14,74	0,118182	16,9874	17,4626
25 (2)	12	15,2575	0,118182	17,249	17,7243

30 (1)	12	14,5167	0,118182	17,024	17,4993
30 (2)	12	14,2842	0,118182	17,1157	17,591
35 (1)	12	13,9458	0,118182	17,3257	17,801
35 (2)	12	13,6142	0,118182	17,0782	17,5535

Concentración de Enzima según Tiempo de Reacción

0,05 (1)	9	14,1144	0,154264	13,8043	14,4246
0,05 (2)	9	15,45	0,154264	15,1398	15,7602
0,1 (1)	9	14,7389	0,154264	14,4287	15,0491
0,1 (2)	9	13,6189	0,154264	13,3087	13,9291
0,15 (1)	9	15,0722	0,154264	14,7621	15,3824
0,15 (2)	9	14,5644	0,154264	14,2543	14,8746
0,2 (1)	9	13,6778	0,154264	13,3676	13,9879
0,2 (2)	9	13,9078	0,154264	13,5976	14,2179

Tabla 49: Análisis de la Varianza para Viscosidad (cP) a 40 °C - Sumas de Cuadrados

de Tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Cociente - F	P- Valor	Significancia al 95%
A: Concentración de Almidón	45,6241	2	22,812	38,61	0,0000	*
A: Concentración de Enzima	21,1903	3	7,06345	11,96	0,0000	*
C: Tiempo de Reacción	1,04401	1	1,04401	1,77	0,1900	n.s
AB	8,41081	6	1,4018	2,37	0,0435	*
AC	5,27676	2	2,63838	4,47	0,0166	*
BC	8,46213	3	2,82071	4,77	0,0054	n.s
ABC	28,423	6	4,73716	8,02	0,0000	*
Residuos	28,3582	48	0,590796			
TOTAL (Corregido)	146,789	71				

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

* Indica una Diferencia Significativa.

Tabla 50: Contraste múltiple de rangos para Viscosidad (cp) a 40 °C según

Concentración de almidón

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
35	24	9,88167	0,156896	a
30	24	11,2125	0,156896	b
25	24	11,7813	0,156896	c

Contraste	Diferencias	+/- Límites
25 -30	*0,56875	0,536687
25 -35	*1,89958	0,536687
30 -35	*1,33083	0,536687

* indica una diferencia significativa.

Tabla 51: Contraste múltiple de rangos para Viscosidad (cp) a 40 °C según

Concentración de enzima (%).

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0,2	18	10,0811	0,181168	a
0,1	18	10,97	0,181168	b
0,05	18	11,2639	0,181168	b
0,15	18	11,5189	0,181168	b

Contraste	Diferencias	+/- Límites
0,05 -0,1	0,548889	0,681919
0,05 -0,15	0,255	0,681919
0,05 -0,2	*1,43778	0,681919
0,1 -0,15	-0,293889	0,681919
0,1 -0,2	*0,888889	0,681919
0,15 -0,2	*1,18278	0,681919

* indica una diferencia significativa.

Tabla 52: Contraste múltiple de rangos para Viscosidad 40 °C según Tiempo de reacción

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	36	10,8381	0,128105	a
1	36	11,0789	0,128105	a

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	0,240833	0,364264

* indica una diferencia significativa.

Tabla 53: Medias por mínimos cuadrados para Viscosidad (cp) a 40 °C con intervalos de confianza 95.0 %, definido por la prueba de HSD Tukey.

Nivel	Frecuencia	Media	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Media total	72	10,9585			
Concentración de almidón					
25	24	11,7813	0,156896	11,4658	12,0967
30	24	11,2125	0,156896	10,897	11,528
35	24	9,88167	0,156896	9,5662	10,1971
Concentración de enzima					
0,05	18	11,5189	0,181168	11,1546	11,8832
0,10	18	10,97	0,181168	10,6057	11,3343
0,15	18	11,2639	0,181168	10,8996	11,6282
0,20	18	10,0811	0,181168	9,71685	10,4454
Tiempo de reacción					
1	36	11,0789	0,128105	10,8213	11,3365
2	36	10,8381	0,128105	10,5805	11,0956
Concentración de Almidón según Concentración de Enzima					
25 (0,05)	6	11,75	0,313793	11,1191	12,3809

25 (0,10)	6	11,5683	0,313793	10,9374	12,1993
25 (0,15)	6	12,55	0,313793	11,9191	13,1809
25 (0,20)	6	11,2567	0,313793	10,6257	11,8876
30 (0,05)	6	12,0033	0,313793	11,3724	12,6343
30 (0,10)	6	11,2917	0,313793	10,6607	11,9226
30 (0,15)	6	11,6	0,313793	10,9691	12,2309
30 (0,20)	6	9,955	0,313793	9,32408	10,5859
35 (0,05)	6	10,8033	0,313793	10,1724	11,4343
35 (0,10)	6	10,05	0,313793	9,41908	10,6809
35 (0,15)	6	9,64167	0,313793	9,01074	10,2726
35 (0,20)	6	9,03167	0,313793	8,40074	9,66259

Concentración de Almidón según Tiempo de Reacción

25 (1)	12	11,5392	0,221885	11,093	11,9853
25 (2)	12	12,0233	0,221885	11,1747	12,4695
30 (1)	12	11,6208	0,221885	11,5772	12,067
30 (2)	12	10,8042	0,221885	10,358	11,2503
35 (1)	12	10,0767	0,221885	9,63054	10,5228
35 (2)	12	9,68667	0,221885	9,24054	10,1328

Concentración de Enzima según Tiempo de Reacción

0,05 (1)	9	11,2411	0,256211	10,726	11,7563
0,05 (2)	9	11,7967	0,256211	11,2815	12,3118
0,1 (1)	9	11,3278	0,256211	10,8126	11,8429
0,1 (2)	9	10,6122	0,256211	10,0971	11,1274
0,15 (1)	9	11,1167	0,256211	10,6015	11,6318
0,15 (2)	9	11,4111	0,256211	10,896	11,9263
0,2 (1)	9	10,63	0,256211	10,1149	11,1451
0,2 (2)	9	.53222	0,256211	9,01707	10,0474

Tabla 54: Análisis de la varianza para Viscosidad (cP) a 50 °C - Sumas de Cuadrados de

Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Cociente - F	P- Valor	Significancia al 95%
A: Concentración de Almidón	22,274	2	11,137	43,72	0,0000	*
A: Concentración de Enzima	18,3756	3	6,12521	24,05	0,0000	*
C: Tiempo de Reacción	2,07061	1	2,07061	8,13	0,0064	*
AB	2,52664	6	0,421107	1,65	0,1532	n.s
AC	1,05803	2	0,529017	2,08	0,1364	n.s
BC	3,51085	3	1,17028	4,59	0,0066	*
ABC	12,7894	6	2,13157	8,37	0,0000	*
RESIDUOS	12,2267	48	0,254722			
TOTAL (CORREGIDO)	74,8319	71				

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

* Indica una Diferencia Significativa.

Tabla 55: Contraste múltiple de rangos para Viscosidad (cP) a 50 °C según

Concentración de almidón (%)

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
35	24	4,37042	0,103021	a
30	24	5,38625	0,103021	b
25	24	5,66458	0,103021	b

Contraste	Diferencias	+/- Límites
25- 30	0,278333	0,3524
25 -35	*1,29417	0,3524
30 -35	*1,01583	0,3524

* indica una diferencia significativa.

Tabla 56: Contraste múltiple de rangos para Viscosidad 50 °C según Concentración de enzima (%)

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0,2	18	4,55722	0,118959	a
0,1	18	4,84389	0,118959	ab
0,15	18	5,25944	0,118959	b
0,05	18	5,90111	0,118959	c

Contraste	Diferencias	+/- Límites
0,05 -0,1	*1,05722	0,447762
0,05 -0,15	*0,641667	0,447762
0,05 -0,2	*1,34389	0,447762
0,1 -0,15	-0,415556	0,447762
0,1 -0,2	0,286667	0,447762
0,15 -0,2	*0,702222	0,447762

* indica una diferencia significativa.

Tabla 57: Contraste múltiple de rangos para Viscosidad a 50 °C según Tiempo de reacción

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey

Nivel	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	36	4,97083	0,0841167	a
1	36	5,31	0,0841167	b

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1-2	*0,339167	0,239183

* indica una diferencia significativa.

Tabla 58: Medias por mínimos cuadrados para Viscosidad (cp) a 50 °C con intervalos de confianza 95.0 %, definido por la prueba de HSD Tukey.

Nivel	Frecuencia	Media	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Media total	72	5,14042			
Concentración de almidón					
25	24	5,66458	0,103021	5,45744	5,87172
30	24	5,38625	0,103021	5,17911	5,59339
35	24	4,37042	0,103021	4,16328	4,57756
Concentración de enzima					
0.05	18	5,90111	0,118959	5,66193	6,14029
0.10	18	4,84389	0,118959	4,60471	5,08307
0.15	18	5,25944	0,118959	5,02026	5,49863
0.20	18	4,55722	0,118959	4,31804	4,79641
Tiempo de reacción					
1	36	5,31	0,0841167	5,14087	5,47913
2	36	4,97083	0,0841167	4,80171	5,13996
Concentración de Almidón según Concentración de Enzima					
25 (0.05)	6	6,175	0,206043	5,76072	6,58928
25 (0.10)	6	5,27	0,206043	4,85572	5,68428
25 (0.15)	6	5,74167	0,206043	5,32739	6,15594
25 (0.20)	6	5,47167	0,206043	5,05739	5,88594
30 (0.05)	6	6,25833	0,206043	5,84406	6,67261
30 (0.10)	6	4,99167	0,206043	4,57739	5,40594
30 (0.15)	6	5,66167	0,206043	5,24739	6,07594
30 (0.20)	6	4,63333	0,206043	4,21906	5,04761
35 (0.05)	6	5,27	0,206043	4,85572	5,68428
35 (0.10)	6	4,27	0,206043	3,85572	4,68428
35 (0.15)	6	4,375	0,206043	3,96072	4,78928
35 (0.20)	6	3,56667	0,206043	3,15239	3,98094
Concentración de Almidón según Tiempo de Reacción					
25 (1)	12	5,66417	0,145694	5,37123	5,95711
25 (2)	12	5,665	0,145694	5,37206	5,95794

30 (1)	12	5,66	0,145694	5,36706	5,95294
30 (2)	12	5,1125	0,145694	4,81956	5,40544
35 (1)	12	4,60583	0,145694	4,31289	4,89877
35 (2)	12	4,135	0,145694	3,84206	4,42794

Concentración de Enzima según Tiempo de Reacción

0.05 (1)	9	5,97778	0,168233	5,63952	6,31603
0.05 (2)	9	5,82444	0,168233	5,48619	6,1627
0.1 (1)	9	5,12667	0,168233	4,78841	5,46492
0.1 (2)	9	4,56111	0,168233	4,22285	4,89937
0.15 (1)	9	5,12444	0,168233	4,78619	5,4627
0.15 (2)	9	5,39444	0,168233	5,05619	5,7327
0.2 (1)	9	5,01111	0,168233	4,67285	5,34937
0.2 (2)	9	4,10333	0,168233	3,76508	4,44159

ANEXO 10

FOTOS DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN



Fotografía 01: Rizomas de achira (*Canna edulis*)



Fotografía 02: Lavado de los rizomas



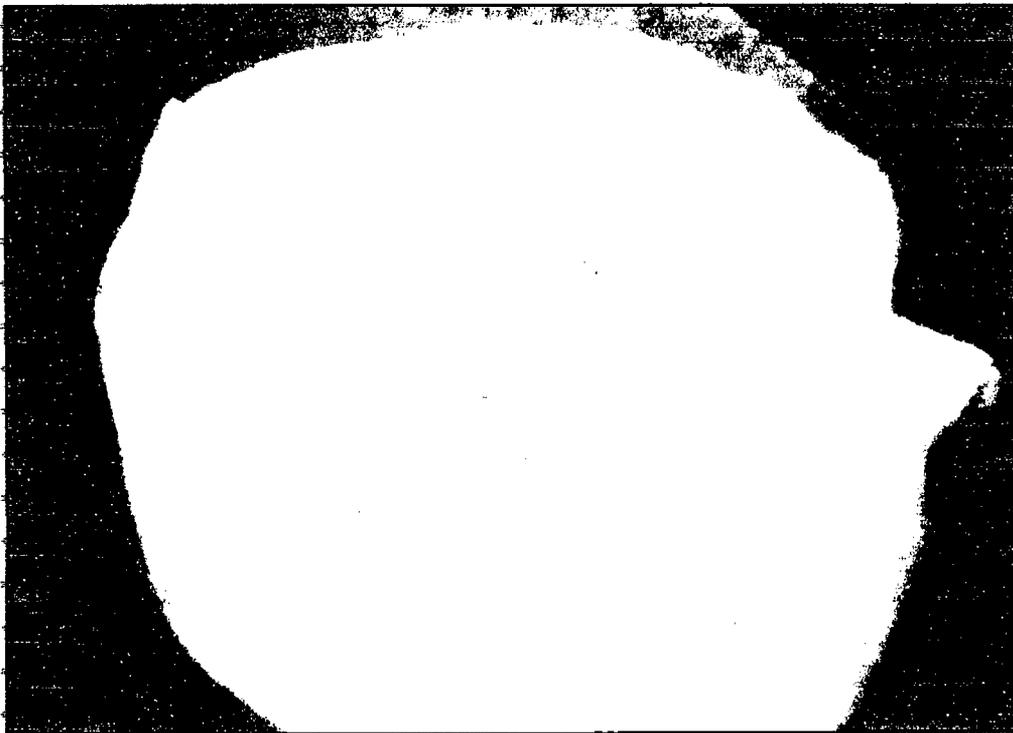
Fotografía 03: Pelado de los rizomas



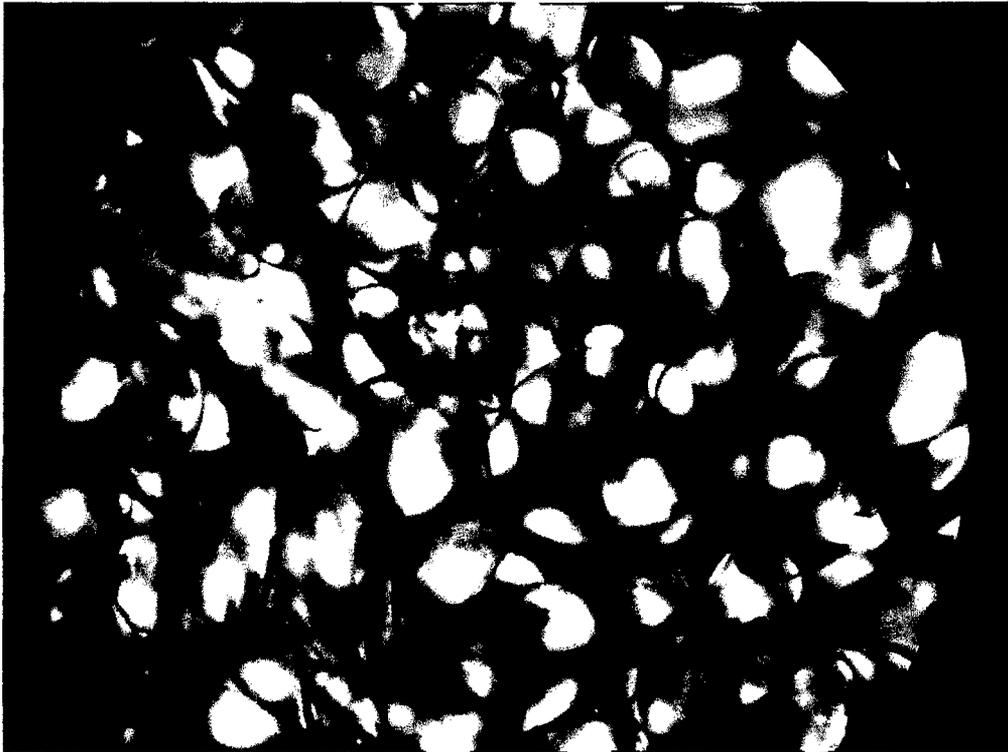
Fotografía 04: Rallado de los rizomas



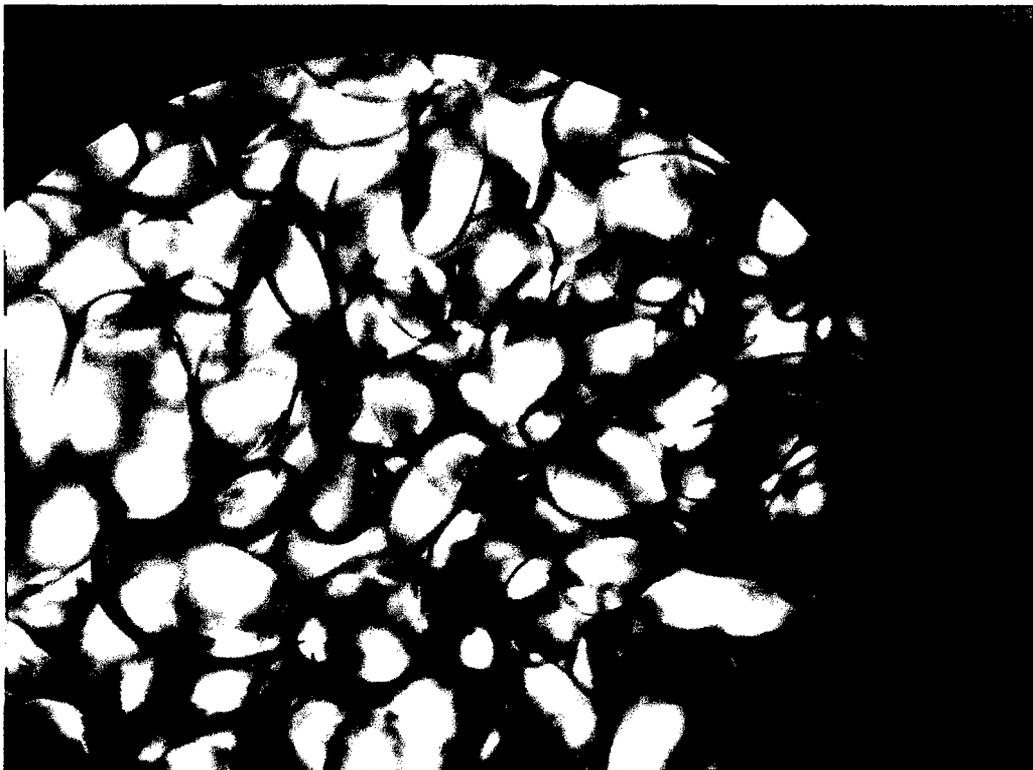
Fotografía 05: Lavado y Tamizado



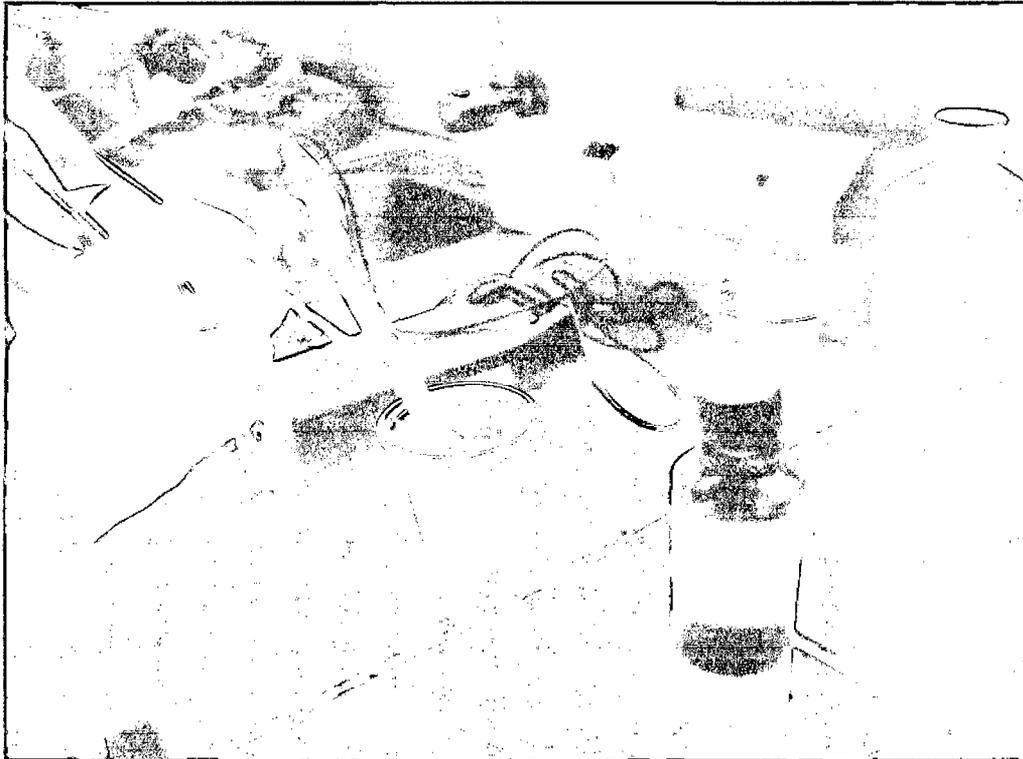
Fotografía 08: Almidón de achira (base seca)



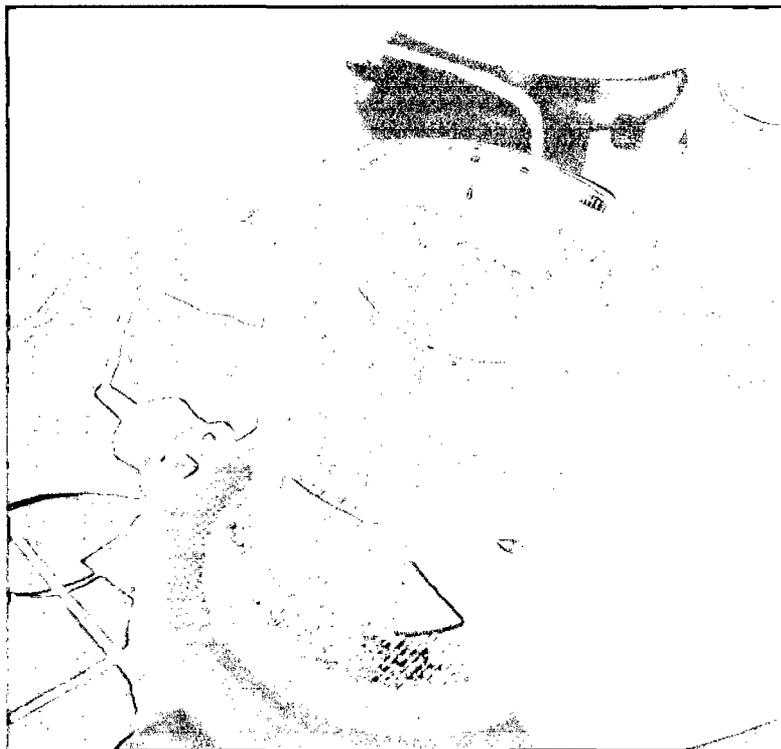
Fotografía 09: Estructura microscópica de los gránulos de almidón de achira



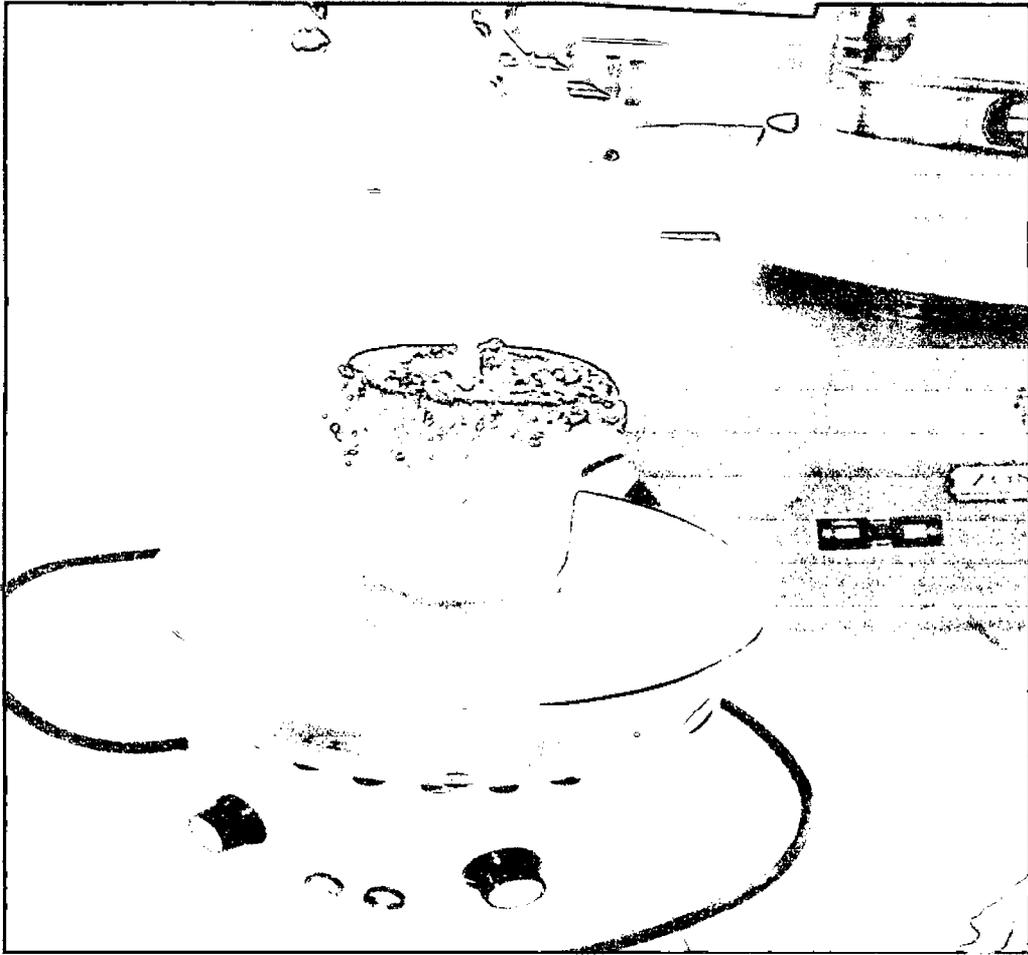
Fotografía 10: Estructura microscópica de los gránulos de almidón de achira



Fotografía 11: Acondicionamiento de la dilución de almidón



Fotografía 12: Gelatinización del almidón



Fotografía 13: Proceso de licuefacción



Fotografía 14: Separación de la maltodextrina después del centrifugado



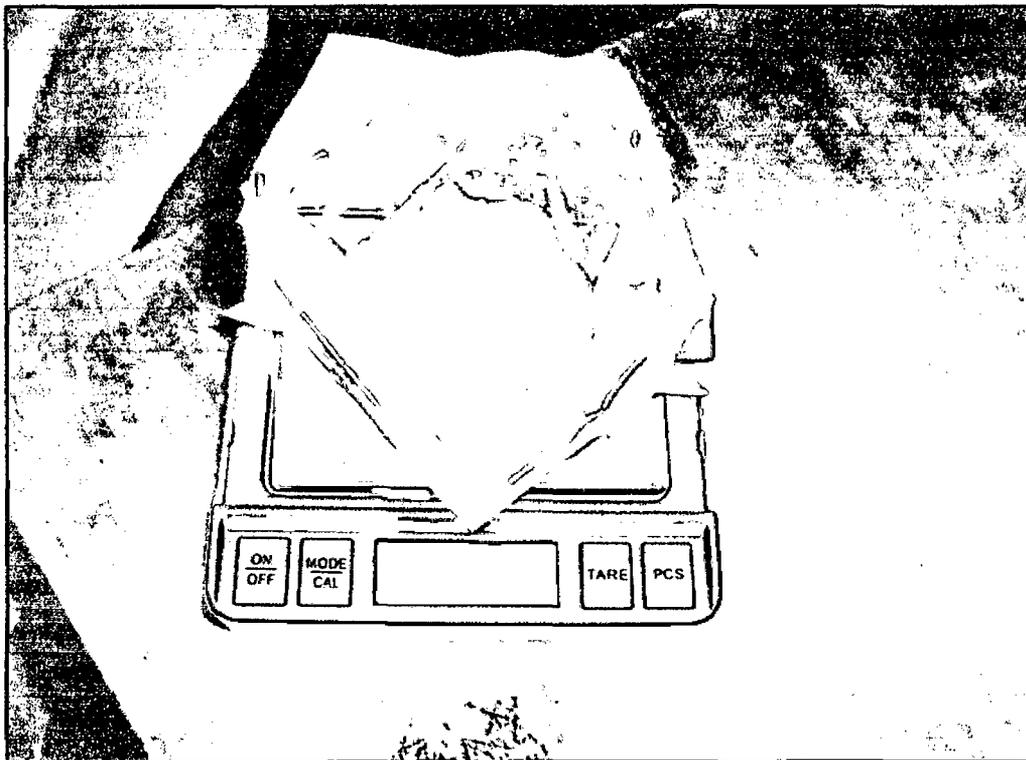
Fotografía 15: Maltodextrina obtenida en base húmeda



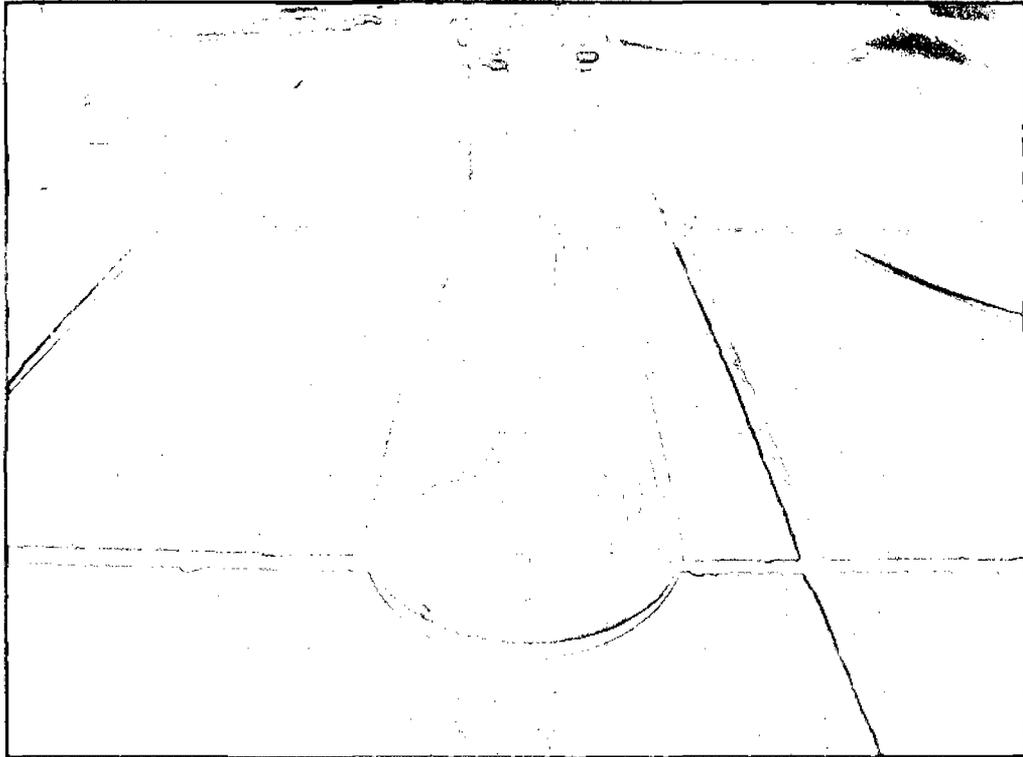
Fotografía 16: Secado de la maltodextrina



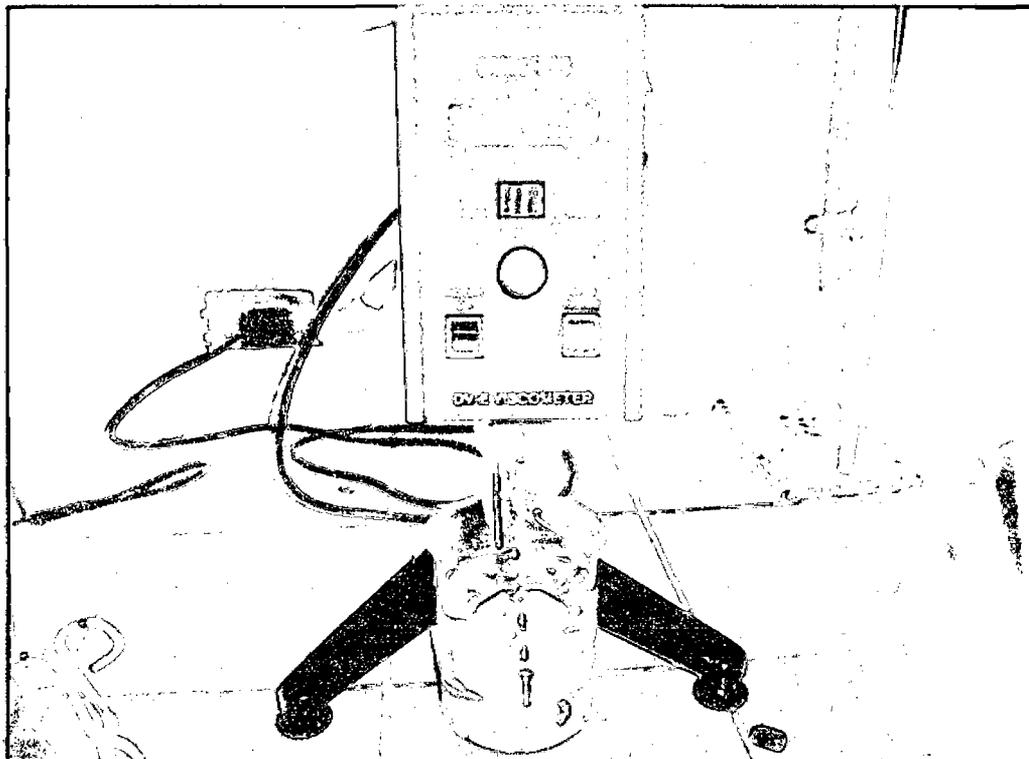
Fotografía 17: Maltodextrina obtenida en base seca



Fotografía 18: Embolsado y pesado de la maltodextrina



Fotografía 19: Determinación de azúcares reductores



Fotografía 20: Evaluación de la viscosidad