

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



**OBTENCIÓN DE MALTODEXTRINA MEDIANTE HIDRÓLISIS
ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN A PARTIR DE ÑELÉN DE ARROZ**

(Oryza Sativa L.)

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Autor:

Ing. PATRICIA DEL CARMEN CORONEL HABRAHAMSHOM

CALLAO – PERÚ

Junio 2019

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

Conforme consta en el Libro 1, Folio N° 015, Acta N° 013, la presente Tesis fue sustentada con fecha 13 de junio de 2019, por la señora **PATRICIA DEL CARMEN CORONEL HABRAHAMSHON**, ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**, conformado por los siguientes Docentes:

Dr.	CARLOS ALEJANDRO ANCIETA DEXTRE	PRESIDENTE
Dr.	OSCAR JUAN RODRÍGUEZ TARANCO	SECRETARIO
Mg.	RICARDO RODRÍGUEZ VÍLCHEZ	MIEMBRO
Mg.	MARÍA ESTELA TOLEDO PALOMINO	MIEMBRO
Dr.	JULIO CÉSAR CALDERÓN CRUZ	ASESOR

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso, que me dio la bendición y fuerza para alcanzar mis metas.

A mi familia, por acompañarme, comprender y apoyarme en mis estudios

A mi esposo, por su apoyo y estímulo.

A la memoria de mi padre, por su constante presencia espiritual, quien por su temprana partida no pudo ver mi objetivo alcanzado

ÍNDICE

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.1. Identificación del problema	12
1.2. Formulación de problemas	13
1.2.1. Problema General	13
1.2.2. Problemas Específicos	13
1.3. Objetivos de la Investigación:	14
1.3.1. Objetivo General	14
1.3.2. Objetivos Específicos	14
1.4. Justificación:	14
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes del estudio:	17
2.2. Bases Teóricas:	23
2.2.1. El Arroz:	23
2.2.2. El ñelén	29
2.2.3. Almidones:	30
2.2.4. Enzimas:	31

2.2.5.	Hidrólisis enzimática del almidón:	34
2.2.6.	Jarabe de Glucosa:	37
2.2.7.	Maltodextrina:.....	38
2.3.	Definición de términos	39
CAPÍTULO III VARIABLES E HIPÓTESIS.....		42
3.1.	Definición de las variables	42
3.1.1.	Variable dependiente:	42
3.1.2.	Variables independientes:	42
3.2.	Operacionalización de variables	42
3.3.	Hipótesis	43
3.3.1.	Hipótesis General.....	43
3.3.2.	Hipótesis Específicas	43
CAPÍTULO IV METODOLOGÍA		44
4.1.	Tipo de investigación:	44
4.2.	Diseño de la Investigación:	44
4.2.1.	Materiales:.....	44
4.2.2.	Métodos:	45
4.3.	Población y muestra:	50
4.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	50
4.5.	Procedimientos de recolección de datos:	50

4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos	52
CAPÍTULO V RESULTADOS	53
CAPÍTULO VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	61
6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados.....	61
6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares	61
CAPÍTULO VII CONCLUSIONES.....	67
CAPÍTULO VIII RECOMENDACIONES.....	68
CAPÍTULO IX REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	74
Anexo 2. curva patrón para la determinación del contenido de azúcares reductores	75
Anexo 3. cálculo para la determinación de azúcares reductores en una muestra	76
Anexo 4. Conversión de contenido de azúcares reductores a contenido de dextrosa equivalente.....	77
Anexo 5. Imágenes del procesamiento de datos con el software Statistica 12.....	78
Anexo 6. Ficha técnica de la enzima.....	79
Anexo 7. Certificado de calidad de la enzima.....	80

Anexo 8. Ficha técnica de maltodextrina comercial.....81

Anexo 9. Maltodextrina reconocida como sustancia gras por FDA.....82

TABLAS DE CONTENIDO

TABLA 2.1	COMPOSICIÓN PROXIMAL DEL ARROZ	24
TABLA 2.2	COMPOSICIÓN FISICOQUÍMICA DEL ÑELÉN	28
TABLA 3.1	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	41
TABLA 4.1	DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE MALTODEXTRINA POR HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA	44
TABLA 5.1	CONCENTRACIÓN DE MALTODEXTRINA OBTENIDA POR HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN, CONCENTRACIÓN DE ENZIMA Y TIEMPO DE REACCIÓN	52
TABLA 5.2	COEFICIENTES DE REGRESIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE MALTODEXTRINA	53
TABLA 5.3	ANOVA E CADA FACTOR E INTERACCIONES PARA LA CONCENTRACIÓN DE MALTODEXTRINA, OBTENIDA POR SOFTWARE STATÍSTICA 12.0	54

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tuvo por objetivo obtener maltodextrina del almidón de ñelén de arroz, mediante el uso de enzima α -amilasa y cuantificar su concentración en términos de la Dextrosa Equivalente (DE) contenida en cada tratamiento.

Para ello, se empleó un Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR), a fin de evaluar 3 variables independientes: Concentración del almidón de ñelén, con niveles evaluados entre 20 – 50%, dosis de enzima α -amilasa proveniente de *Aspergillus niger*, con niveles evaluados entre 0.2 – 1mg/g y tiempo de reacción enzimática, con niveles evaluados entre 30 – 80 minutos, generando 14 tratamientos más 2 puntos centrales.

Se logró obtener maltodextrina con una concentración entre 5.2 – 12.4 DE y sus parámetros óptimos de obtención fueron: concentración de almidón de ñelén de 40 a 60%; dosis de enzima de 0.72 a 0.98 mg/g y un tiempo de reacción de la enzima de 60 a 75 minutos.

Los análisis estadísticos indicaron que dos de las tres variables independientes fueron significativas ($p < 0.05$) en sus planos lineales: dosis de enzima y tiempo de reacción; además, se logró formular un modelo matemático, para predecir la mejor concentración de maltodextrina, cuyo R^2 fue de 81.78%.

Palabras claves: hidrólisis enzimática, ñelén de arroz, α -amilasas, maltodextrina, optimización.

ABSTRACT

The objective of this research project was to obtain the maltodextrin of rice starch, the use of the α -amylase enzyme and quantify its concentration in terms of the Dextrose Equivalent (DE) contained in each treatment.

For this, a Rotational Central Compound Design (RCC) was used to evaluate 3 independent variables: Concentration of ñelén starch, with levels evaluated between 20 - 50%, dosage of enzyme α -amylase from *Aspergillus niger*, with evaluated levels between 0.2 - 1mg / g and enzymatic reaction time, with levels evaluated between 30 - 80 minutes, generating 14 treatments plus 2 central points.

It was possible to obtain maltodextrin with a concentration between 5.2 - 12.4 SD and its optimum parameters were: concentration of ñelén starch from 40 to 60%; enzyme dosage from 0.72 to 0.98 mg / g and an enzyme reaction time of 60 to 75 minutes.

Statistical analyzes indicated that two of the three independent variables were significant ($p < 0.05$) in their linear planes: enzyme concentration and reaction time; In addition, it was possible to formulate a mathematical model, to predict the best concentration of maltodextrin, whose R^2 was 81.78%.

Keywords: enzymatic hydrolysis, rice ñelen, α -amylases, maltodextrins, optimization

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación del problema

El ñelén, es un subproducto del pilado del arroz, constituido por la porción de granos quebrados que se encuentran prácticamente triturados; desde el punto de vista comercial no tiene demanda para el consumo humano y se utiliza generalmente para la alimentación animal; sin embargo, presenta un alto contenido de almidón, que puede ser aprovechado para obtener productos con alto valor agregado como los azúcares reductores, glucosa y maltodextrina.

Éstos se obtienen por hidrólisis del almidón y presenta propiedades interesantes que la convierten en uno de los aditivos más utilizados en la industria alimentaria; la cual, generalmente se importa para satisfacer la demanda de la industria nacional.

Los hidrolizados de almidón que se obtienen por vía enzimática, requieren parámetros de reacción controlados, que permitan obtener productos funcionales, según su aplicación en la industria de alimentos.

Por consiguiente, esta investigación se propone aprovechar el almidón que contiene el ñelén, con la finalidad de obtener maltodextrina por el método de hidrólisis enzimática; lo cual se conseguirá utilizando almidón de ñelén concentrado en forma

óptima, con dosis adecuadas de enzima y tiempo de reacción óptima.

1.2. Formulación de problemas

1.2.1. Problema General

¿Cuáles serán los parámetros óptimos de la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz (*Oryza sativa* L.) en la obtención de maltodextrina?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la concentración óptima de sustrato durante la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz, para obtener maltodextrina?
- ¿Cuál es la dosis óptima de enzima durante la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz, para obtener maltodextrina?
- ¿Cuál es el tiempo óptimo de reacción durante la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz para obtener maltodextrina?

1.3. Objetivos de la Investigación:

1.3.1. Objetivo General

Determinar los parámetros óptimos de hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz, para obtener maltodextrina.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar la concentración óptima de sustrato, durante la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz, para obtener maltodextrina.
- Determinar la dosis óptima de enzima, durante la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz, para obtener maltodextrina.
- Determinar el tiempo óptimo de reacción, durante la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz, para obtener maltodextrina.

1.4. Justificación:

El arroz es uno de los componentes esenciales de la canasta básica familiar en el Perú, siendo el cereal que predomina en la preferencia de consumo, con un promedio total per cápita de 47.4 kilos al año, según resultados de la Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares 2008 - 2009, realizada del Instituto Nacional de Estadística e Informática.

Asimismo, es el primer producto en área sembrada y cosechada, según señala el Instituto Nacional de Innovación Agraria; habiendo registrado en el año 2013 un total de 395,651 hectáreas de área sembrada y 3'050,934 Toneladas de producción, con un rendimiento de 7.7 toneladas por hectárea de acuerdo al reporte de la Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos del Ministerio de Agricultura y Riego.

En el proceso de pilado de arroz se obtienen sub productos tales como: el ñelén, que no tienen demanda para el consumo humano y que se utilizan generalmente para la alimentación animal, pero pueden ser utilizados para obtener productos con valor agregado.

El ñelén, está constituido por la porción de granos quebrados que se encuentran prácticamente triturados, con trozos menores a $\frac{1}{4}$ del tamaño normal del grano; la cantidad generada es variable y depende de la materia prima y la tecnología empleada en pilado; desde el punto de vista comercial no tiene demanda para el consumo humano; sin embargo, presenta una composición exquisita de almidón de alrededor del 70 %, el cual no se utiliza en su verdadera magnitud.

Mediante la hidrólisis del almidón se obtienen productos ampliamente usados en la industria alimentaria, tales como los jarabes de glucosa, azúcares reductores y maltodextrinas que se obtienen mediante procesos de hidrólisis ácida, enzimática o mixta,

principalmente del almidón de maíz, aunque es posible obtenerlas a partir de cualquier materia prima que almacene almidón.

Estos productos presentan diferentes propiedades fisicoquímicas y funcionales que lo han convertido en uno de los aditivos más utilizados en la industria alimentaria, es humectante y espesante, dispersa muy bien otros ingredientes y estabiliza alimentos con gran cantidad de grasas, alargando su durabilidad; se desempeñan como estabilizantes, espesantes, reemplazadores de grasas y aceites, ayudan a controlar el dulzor y sirven para dar cuerpo y textura,

Actualmente en el Perú no existe producción de estos productos de la hidrólisis del almidón y para satisfacer la demanda se recurre a la importación, lo que representa una constante fuga de divisas y una dependencia tecnológica para nuestro país; por lo que constituye un gran aporte a la industria alimentaria nacional, desarrollar tecnología propia que permita aprovechar nuestros sub productos para la obtención de este aditivo alimentario y de esta forma disminuir o eliminar tanto sus importaciones, como la dependencia tecnológica del exterior, dando además valor agregado a nuestros sub productos y creando mayores y mejor remuneradas fuentes de empleo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio:

Según el MINAGRI (2018) el comportamiento observado en el sector agrícola a inicios del año 2018, muestra incrementos significativos en la producción de arroz cáscara en 15,07%, maíz amarillo duro 14,73%, cacao 34,03%, papa 7,88%, piquillo 72,55% y uva 4,72%, influenciada por mayores niveles de superficie cosechada y favorables condiciones climatológicas. Respecto al arroz, en el Perú, el consumo, importación y exportación es básicamente del grano de arroz pilado. El salvado de arroz, un subproducto de la molienda del arroz, así como los granos de arroz de baja calidad y los excedentes representan un suplemento de comida para el ganado (MINAGRI, 2015); sin darle mayor valor agregado.

Bermudez & Casquete (2011) estudiaron la elaboración de edulcorante a partir de harina de arroz, utilizando para la hidrólisis enzimas amilasas de origen vegetal. Las variables estudiadas fueron: pH, temperatura de reacción, tiempo de reacción, relación enzima-sustrato y velocidad de reacción; al evaluar el cofactor para la hidrólisis, se determinó que el más adecuado resulto ser el cloruro de calcio; la temperatura adecuada en la hidrólisis fue de 70°C; el tiempo de hidrólisis adecuado fue de 45 minutos; la mejor relación

enzima-sustrato fue de 1-10, dando mejores resultados que alcanzaron los 22 grados Brix en el producto de la hidrólisis; la velocidad de reacción con estas variables fue de 0,283 gramos de almidón hidrolizados / minuto. Luego de filtrar, clarificar y concentrar el jarabe obtenido se obtuvo 42 de dextrosa equivalente y 80% de concentración de sólidos.

Mera & Carrera (2005) se enfocaron en la producción de glucosa a partir de almidón de yuca, utilizando la hidrólisis enzimática. Para ello se probaron enzimas obtenidas de *Aspergillus niger*, *Bacillus subtilis* y *Aspergillus oryzae*, a diferentes temperaturas, pH y concentraciones de sustrato, y se estandarizó condiciones de proceso. Después de realizada la hidrólisis completa del almidón, el jarabe se filtró para ser sometido a tratamiento térmico de 85°C por 5 minutos, se concentró y cristalizó, obteniendo un producto con un valor Dextrosa Equivalente (DE) cercano a 90%.

La investigación de Salcedo y otros (2009) tuvo como objetivo la producción y evaluación del rendimiento de jarabes de fructosa a nivel de laboratorio, a partir de jarabes de glucosa obtenidos por medio de hidrólisis enzimática de almidones extraídos de dos variedades de yuca, C. Orense y C. M Tai-8; empleando un diseño experimental de múltiple factor categórico completamente al azar con dos factores, el factor concentración de sustrato en cinco niveles (10, 20, 30, 40 y 50 % p/v de concentración de almidón) y el factor

variedad de yuca en dos niveles (C. Orense y C. M Tai-8), con tres repeticiones, en un total de 30 unidades experimentales. Se alcanzaron 95.32 y 94.12 unidades de equivalentes de dextrosa (DE) para C. Orense y C. M Tai-8 respectivamente

Melo-Sabogal y otros (2015) evaluaron el efecto del tratamiento enzimático sobre el almidón obtenido de pulpa y cáscara de plátano (*Musa paradisiaca spp.*) y se estableció el efecto de la temperatura de secado en almidón hidrolizado sobre propiedades químicas, físicas y reológicas. Se cuantificó la actividad de agua, el contenido de humedad y el contenido de dextrosa equivalente, azúcares reductores presentes en la maltodextrina por cromatografía líquida de alta eficacia. Se demostró que es posible la obtención de maltodextrinas a partir de pulpa y cáscara de plátano por vía enzimática y secado por atomización a temperatura de 130°C. Estos autores establecieron alternativas de aprovechamiento de los subproductos de las cadenas agroindustriales en Colombia.

Montes y otros (2008) modificaron por vía enzimática el almidón de ñame (*D. trifida*) utilizando α -amilasa (Termamyl 120L, tipo L de Novo Nordisk) para determinar sus propiedades funcionales; para lo cual, emplearon un diseño experimental en bloques completamente al azar, en un arreglo factorial multinivel, temperatura de reacción (50,72 y 93°C), concentración de almidón (30, 40 y 50% p/v) y tiempo de reacción (20, 40 y 60 minutos). Los almidones

hidrolizados a 93°C presentan lo mayores equivalentes de dextrosa (ED). Así se demostró el gran potencial de los hidrolizados de *D. trífida* como una alternativa para responder a las demandas de los procesos industriales en la fabricación de alimentos tales como productos de panadería, salsas, yogures, mermeladas y productos congelados.

Asimismo, Antonio-Estrada y otros (2009) extrajeron almidón a partir del tubérculo de malanga (*Colocasia esculenta*) y se caracterizó parcialmente para ser utilizado como materia prima para obtener maltodextrinas mediante hidrólisis enzimática. Se obtuvo almidón con un rendimiento de 858 g/kg que presentó contenidos de amilosa 269,2 g/kg y amilopectina de 554,8 g/kg. Se obtuvo maltodextrinas con equivalentes de dextrosa (ED) de 15,12 y 17,48% a 95 °C por 48,6 y 79,4 min respectivamente.

De igual manera, utilizando otra materia prima, Medina-García (2013) aportó con su investigación la cual consistió en producir maltodextrinas por vía enzimática a partir del almidón del camote (*Ipomoea batatas*); inicialmente se realizó el análisis químico proximal de los tubérculos del camote (*Ipomoea batatas* variedad nylon), después se llevó a cabo la extracción y caracterización del almidón y posteriormente se determinaron las condiciones de hidrólisis óptimas para el proceso de obtención de maltodextrinas con 5, 10, 15 y 20 ED, estableciendo las siguientes condiciones de

hidrólisis: temperatura 50°C, concentración de almidón al 10% p/p, pH 6.9 y una concentración de la enzima α -amilasa de *Aspergillus oryzae* 10 μ g/mL. Finalmente se realizó la caracterización fisicoquímica y funcional de cada una de las maltodextrinas obtenidas, concluyendo que las maltodextrinas obtenidas a partir del almidón de tubérculos de camote (*Ipomoea batatas*) presentan propiedades fisicoquímicas y funcionales muy similares a las que presentan las maltodextrinas comerciales obtenidas a partir de almidón de maíz.

Chávez (2002) aportó con la elaboración de jarabe de glucosa partiendo del almidón de camote, evaluando su viscosidad, color y contenido de glucosa. El jarabe de glucosa producido con este almidón fue mediante una hidrólisis y sacarificación enzimática, y rindió 15% sobre el peso inicial de la pasta, tuvo menos viscosidad, menor contenido de glucosa y un color más opaco y amarillo que el jarabe de almidón de maíz. Además, hizo hincapié en realizar posteriores investigaciones para un proceso más efectivo y llegar a una calidad estandarizada.

Díaz y otros (2002) evaluaron el efecto de las variables más relevantes en el proceso de hidrólisis enzimática del almidón de yuca, a fin de determinar las condiciones apropiadas para obtener maltodextrinas de diferentes grados de conversión. Se empleó una α -amilasa proveniente de una cepa genéticamente modificada de

Bacillus licheniformis. Las variables estudiadas fueron: temperatura (80-90°C), pH (5,5-6,5), concentración de almidón (30-40% w/w), adición de enzima (0,583-0,833 ul/g almidón) y adición de cofactor (50-70 mg/L de CaCl₂). Las variables con mayor incidencia fueron temperatura y dosis enzimática, tanto en el análisis de la velocidad inicial de hidrólisis con respecto al tiempo de reacción, como en el análisis respecto al grado de conversión obtenido en los hidrolizados. Se obtuvo un equivalente de dextrosa hasta de 30% para el tiempo de reacción estudiado, así como la más alta velocidad inicial de reacción (21,7 DE/hora) para el ensayo con pH y dosis de enzima en sus niveles altos. Las propiedades funcionales de la maltodextrina en solución se vieron afectadas, solo por la temperatura y la concentración de almidón.

Mendoza (2017) desarrolló su investigación en la obtención de fructosa a partir de la hidrólisis química y enzimática del almidón de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). En cuanto a la reacción enzimática, se empleó un Diseño Central Compuesto, los modelos de superficie de respuesta se ajustaron satisfactoriamente a las enzimas inulinasa e invertasa ($R^2 = 0.983$ y 0.880 respectivamente); las condiciones óptimas de la hidrólisis enzimática fueron 134 minutos y 11.7 U/g FOS para la inulinasa; mientras que con la invertasa fueron 127.5 minutos y 0.674 U/g FOS, ambas reacciones bajo las condiciones constantes de 50°C y pH 5, obteniéndose un

rendimiento de 6.168 y 7.506 g de fructosa/litro de extracto, respectivamente.

De la Cruz & Yalta (2017) indicaron en la primera etapa de su investigación, la obtención de glucosa evaluando el efecto de la concentración de HCl (0.7 – 2.7%) y tiempo de hidrólisis (110 – 230 minutos), manteniendo fijo la concentración del almidón al 20%. Se aplicó un Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR), logrando determinar los niveles óptimos del proceso de hidrólisis, siendo la concentración de HCl de 1.65 – 2.3% (v/v) y tiempo de reacción de 215 – 240 minutos que logró obtener una concentración de 19.7144g/l (9.3645%) de glucosa.

2.2. Bases Teóricas:

2.2.1. El Arroz:

Según lo señalado por la Universidad Nacional Autónoma de México, el grano de arroz se compone de las siguientes partes:

- **Cáscara**

Es la capa dura que protege el grano, formada por tejido celulósico-fibroso que representa entre el 20 y 22% del grano. Tiene muy bajo contenido de nutrientes; sin embargo, tiene gran capacidad aislante, buena conductividad térmica y alto contenido de minerales, lo que permite su uso en la industria de jabones, lijas, revestimientos, otros.

- **Pericarpio.**

Es la parte externa del grano sin cascara, que representa en promedio el 2% del peso del grano moreno. En el proceso industrial esta parte también se elimina convirtiéndose en el salvado o harina, utilizada como materia prima para la industria de concentrados para animales.

- **Endospermo.**

Compuesto por la capa de aleurona y el endospermo blanco. Su peso es aproximadamente el 80% del grano del arroz. La capa aleurona es la capa externa, compuesta por gránulos de almidón y un cierto contenido de proteínas y grasas; el endospermo blanco está compuesto básicamente de gránulos de almidón. Es la parte que se comercializa como arroz blanco. Contiene, además azúcares, grasas, fibra cruda y materia orgánica.

- **Germen o embrión.**

Se une con el endospermo en el lado ventral de la espiguilla, consiste en capas de aleuronas y endospermo amiláceo. En el proceso industrial el germen o embrión se elimina convirtiéndose en harina. Pesa aproximadamente un 3% del total del grano.

La composición proximal del arroz con cáscara y el arroz pulido se presenta en la tabla 2.1.

TABLA 2.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL DEL ARROZ

Componentes	Arroz cáscara	Arroz Pulido
Energía (Kcal)	325	358
Agua (%)	11.9	13.4
Proteínas (%)	5.9	7.8
Grasa (%)	2.0	0.7
Carbohidratos (%)	75.7	77.6
Fibra cruda (%)	9.9	0.4
Cenizas (%)	4.5	0.5
Calcio (mg/100 g)	40	6
Fósforo (mg/100 g)	185	134
Zinc (mg/100 g)	0.20	1.51
Hierro (mg/100 g)	-	1.04
Tiamina (mg/100 g)	0.16	0.11
Rivoflavina (mg/100 g)	0.07	0.04
Niacina (mg/100 g)	3.85	2.19
Vitamina C (mg/100 g)	-	0.90

Fuente: CENAN – INS; (2009).

Según lo señalado por Guerrero *et al* (2012), el proceso de molienda o pilado del arroz se realiza en las siguientes etapas de proceso:

- **Recepción y pesado de materia prima**

La recepción se hace a granel, en este momento el grano se denomina arroz paddy verde y presenta humedades entre 12 y 26%, dependiendo de la procedencia. Ingresa al molino y es pesado en la balanza.

- **Pre limpieza**

Remoción del material extraño como animales, paja, polvo, piedras, metal, vidrio y otros granos diferentes al arroz. Este proceso se realiza utilizando la diferencia de forma existente entre el grano de arroz y el material extraño, mediante un movimiento de zarandeo. Se requieren hasta tres procesos de limpieza para eliminar las impurezas.

- **Secado**

En este proceso se combinan dos tipos de secado: El Secado Natural al sol, en donde el arroz cáscara húmedo es colocado en mantas en forma de una delgada capa que removida cada cierto periodo; y el Secado Artificial por contacto con aire caliente procedente de un horno.

- **Descascarado**

El arroz con cáscara ingresa a la máquina piladora en donde es descascarado mediante proceso de fricción y se obtiene arroz integral y cascarilla o pajilla que va como insumo para el secado industrial.

- **Separación gravimétrica**

Aquí el grano descascarado es separado en grano sin descascarar, que pasa de nuevo a las descascaradoras, y el grano integral pasa al pulido.

- **Pulido**

El arroz se somete a procesos de fricción, aire o agua en el que se elimina la capa superior y se obtiene el arroz blanco o pulido.

- **Clasificación:**

Se utilizan zarandas tipo mesa, rotativas, y cilindros clasificadores, con el objetivo de separar las fracciones de grano ya sea arrocillo, con longitudes de $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$ o $\frac{1}{4}$ de ñelén, con longitudes menores a $\frac{1}{4}$.

- **Selección por color:**

El flujo de masa blanca es cargada a la selectora por color para retirarle los granos tizosos y manchados. Dejando al grano seleccionado según el grado de calidad que se le debe dar.

- **Empaquetado**

El producto final es empaquetado bajo condiciones adecuadas, limpias y seguras para su posterior distribución y comercialización.

De acuerdo con lo señalado por Elías y Díaz (2014), los sub productos generados durante el pilado del arroz son los siguientes:

- **Pajilla o cascarilla:**

Se obtiene del proceso de descascarado, es el material de descarte constituido por la cáscara o cubierta del grano de arroz.

- **Polvillo:**

Constituido por cutícula, embrión y otras partes del grano, como producto del blanqueado o pulido del arroz, cuando este pasa por pulidoras abrasivas y de fricción.

- **Arrocillo:**

Producto formado íntegramente por granos quebrados libres de ñelén y polvillo, cuyo tamaño está comprendido entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ del tamaño normal del grano entero de mayor contraste.

- **Arroz descarte:**

Desperdicio del arroz blanco, formado por arroz manchado o con propiedades no aptas para una buena presentación del producto final.

- **Ñelén:**

Lo conforman los granos quebrados menores a $\frac{1}{4}$ de la longitud de la variedad del grano de mayor contraste; es decir, granos con longitud menor a 1.5 mm.

2.2.2. El ñelén

Es un subproducto del pilado de arroz, que se encuentra prácticamente triturado y desde el punto de vista comercial no tiene demanda para el consumo humano, generando problemas logísticos y económicos, con una composición exquisita de almidón de 70,13 %, proteínas 6,90 %, grasa 5,33 %, fibra 2,16 %, humedad 13,8 % y cenizas 1,58 % (Escobar *et al.*, 1994).

A continuación se muestra los resultados del análisis Físico - Químico realizado en el año 2002, en la UNALM al grano de arroz ñelén:

TABLA 2.2. COMPOSICIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ÑELÉN

Composición	Valor Obtenido
Tamaño de grano	2 - 4 mm
Partículas extrañas	1.5 %
Humedad	13.5 %
Almidón	76.8 %

Fuente: Reque Díaz, (2007).

De acuerdo a los resultados del balance de materia del pilado de arroz, realizado por Elías y Diaz (2014), el promedio de ñelén obtenido, representó el 0.21 % de la materia prima que ingresó al proceso de producción.

Por otro lado, Rodríguez (2007) señaló que el rendimiento industrial del arroz elaborado entero obtenido en el procesamiento de arroz es variable dependiendo de las variedades usadas, los métodos de cosecha, los tratamientos post-cosecha aplicados y la calidad del proceso industrial; señalando que el arroz elaborado tiene un rendimiento de 52-70%, el hollejo 16-25%, de pulido 10-12%, el cual a su vez se compone de afrecho (3%), harinilla (5-8%) y germen (2%), el porcentaje de granos quebrados es de 15-20% y de puntillas 2%.

2.2.3. Almidones:

El almidón es el principal polisacárido de reserva de la mayoría de los vegetales y principal fuente de calorías de la humanidad. Es importante como constituyente de los alimentos, tanto desde el punto de vista nutricional como tecnológico. Gran parte de las propiedades de la harina y de los productos de panadería y repostería pueden explicarse conociendo el comportamiento del almidón.

A nivel mundial, son importantes fuentes de almidón el maíz, trigo, papa y mandioca. Para aplicaciones especiales, se obtiene también almidón de la cebada, avena, centeno, sorgo y batata, entre otros. El almidón más importante desde el punto de vista

industrial es el de maíz, bien para su uso como tal o como materia prima para la obtención de glucosa y fructosa (Calvo, 1994).

Los almidones tienen un papel importante en la tecnología alimenticia debido a sus propiedades funcionales; se utilizan como agentes espesantes y también para aumentar la viscosidad de las salsas y potajes, agentes espesantes de geles y emulsiones, así como elementos ligantes y agentes de relleno (Cheftel, 1999).

2.2.4. Enzimas:

Las enzimas son catalizadores con varias propiedades notables. En primer lugar, las velocidades de las reacciones catalizadas por enzimas a menudo son extraordinariamente elevadas. Se han observado aumentos de la velocidad de 10⁷ a 10¹⁹ veces. En segundo lugar, en marcado contraste con los catalizadores inorgánicos, las enzimas son muy específicas para las reacciones que catalizan, y rara vez forman productos secundarios. Por último, debido a sus estructuras relativamente grandes y complejas, las enzimas pueden regularse. Esto es muy importante en los seres vivos, que deben conservar energía y materias primas (Badui, 2006).

Un catalizador es una sustancia que aumenta la velocidad de una reacción química y que no se altera de forma permanente por la reacción. Los catalizadores realizan esta hazaña debido a que

disminuyen la energía de activación que se requiere para una reacción química. En otras palabras, los catalizadores proporcionan una vía de reacción alternativa que requiere menos energía (Badui, 2006).

Las enzimas catalizan reacciones específicas en las que intervienen uno o varios compuestos llamados sustratos, para cada sustrato hay una enzima específica. La especificidad de una enzima es la habilidad que tiene para discriminar o identificar uno de dos sustratos similares por lo que compiten entre sí para ser tomados por ella (Illanes, 1994).

El resultado de la reacción se denomina producto. Antes de la reacción la enzima tiene gran afinidad por su sustrato, después de la misma el producto no tiene afinidad por la enzima, por lo que se desprende de ella y queda lista para catalizar otra reacción.

Las enzimas pueden ser simples (estructura proteica) o conjugadas (holoenzima) donde se forma por una parte proteica y otra no proteica. La parte proteica (apoenzima) es termolábil y solo puede desarrollar su acción catalítica en presencia de los cofactores que pueden ser iones inorgánicos (Fe, Mg, Mn, Zn) u orgánicos (coenzima), compuestos que por medio de su unión covalente con la enzima se conoce como grupo prostético. La parte no proteica (cofactor) es un compuesto de bajo peso molecular, estable al calor (Illanes, 1994).

La especificidad de reacción corresponde a las apoenzimas, mientras que las coenzimas se encargan de pasar por las transformaciones químicas necesarias para la catálisis enzimática evitando que la enzima sufra degeneración de tal manera que permanece intacta para llevar a cabo otro ciclo de reacciones simplemente cambiando la coenzima. Las coenzimas participan en las diferentes reacciones de acuerdo a la apoenzima a la que se encuentre unido; mientras que la apoenzima es catalíticamente inactiva hasta el momento en que se une al cofactor adecuado para así dirigir la reacción bioquímica en un sentido determinado (Illanes, 1994).

En resumen, las propiedades que se le atribuyen a las enzimas, son:

- No sufren cambios irreversibles durante la reacción por lo que pueden participar de manera repetida en reacciones individuales
- No aportan energía para una reacción química.
- Son catalizadores muy eficientes
- Son altamente específicos para sus sustratos y para cada reacción
- Pueden estar sujetos a regulación en su actividad.
- Son eficientes en pequeñas cantidades y no sufre cambios al catalizar las reacciones químicas.
- Aceleran las reacciones químicas sin sufrir modificaciones.

- No alteran las concentraciones de equilibrio de la reacción.
- No modifican el carácter exotérmico o endotérmico de la reacción.

2.2.5. Hidrólisis enzimática del almidón:

Los almidones se transforman en muchos productos comerciales por medio de hidrólisis usando ácidos o enzimas como catalizadores. La hidrólisis es una reacción química que desdobra cadenas largas de polisacáridos por la acción del agua para producir cadenas más pequeñas o carbohidratos simples. Los productos resultantes son asignados un valor de equivalencia en dextrosa (DE) que está relacionado al nivel de hidrólisis realizado (Reyna *et al.*, 2004).

La hidrólisis produce azúcares que son directamente utilizados por todos los microorganismos vivientes. En la hidrólisis enzimática por acción de las enzimas más comunes: alfa y beta. Para una eficiente hidrólisis enzimática del almidón por las amilasas conviene que esté gelatinizado, por esta razón se realiza un cocimiento del almidón antes de la adición de dichas enzimas (Reyna *et al.*, 2004).

La hidrólisis enzimática de los gránulos de almidón se ve afectada por la estructura del gránulo, el tipo de cristal, el tamaño del cristal, la relación amilosa/amilopectina, el peso molecular

promedio de esta relación, la presencia de lípidos y proteínas y las condiciones de especificidad de reacción de la enzima.

Durante la hidrólisis enzimática se rompen los enlaces α (1-4) y α (1-6) presentes en el almidón para liberar cadenas más cortas: dextrinas, maltosa y glucosa (Bermudez y Casquete, 2011).

- **Enzimas específicas del enlace α (1-4)**

Se llaman genéricamente Amilasas y se clasifican en α y β . Las α -amilasas liberan productos que tienen el grupo $-OH$ situado en el carbono C1 en configuración α , mientras que en las β -amilasas se encuentra en configuración β . Las β -amilasas tienen un pH óptimo más elevado que la α -amilasa y no requieren de iones calcio (Ca^{2+}) para el aumento de su actividad. Las α -amilasas atacan al almidón al azar, lo que permite clasificarlas como endoenzimas mientras que las β -amilasas son exoenzimas que atacan las cadenas de almidón por sus extremos no reductores. (Bermúdez *et al*, 2011).

Las α -amilasas son las más utilizadas a escala industrial y su origen puede ser vegetal, animal o microbiano (bacterias, mohos y levaduras). Hidrolizan al azar los enlaces α (1-4) presentes en las cadenas de amilosa y amilopectina que producen en el primer caso, glucosa y maltosa, y en el segundo caso, además α -dextrinas límite con cadenas más o menos ramificadas (Bermúdez *et al*, 2011).

Las β -amilasas convierten la amilosa en β -maltosa si las cadenas contienen un número par de unidades de glucosa, y en β -maltosa más glucosa cuando el número de unidades de glucosa es impar. Estas β -amilasas se extraían de vegetales (cebada, boniato); actualmente se preparan de microorganismos, como *B. polymxa*, *B. megaterium*, *B. cereus*, *Streptomyces* y *Pseudomonas* (Bermúdez *et al*, 2011).

- **Enzimas específicas del enlace α (1-6)**

Son las llamadas enzimas desramificantes. Las más importantes son la pululanasa, obtenida a partir de un cultivo de *Enterobacter aerogenes*, y la isoamilasa, obtenida a partir de cultivos de *Pseudomonas* y *Citofaga*. Sus parámetros de actividad óptima están situados a pH=5-6.5 y T=40-50°C. La pululanasa hidroliza la amilopectina del almidón, pero es incapaz, debido a su gran volumen, de hidrolizar completamente el glucógeno, polímero de reserva dos veces más ramificado que la amilopectina (Bermúdez *et al*, 2011).

- **Enzimas específicas de los enlaces α (1-4) y α (1-6)**

El descubrimiento de enzimas microbianas capaces de hidrolizar los dos tipos de enlaces α (1-4) y α (1-6) ha mejorado la industria del almidón, ya que la comercialización de estas enzimas, permitió la producción industrial de dextrosa o D-glucosa por vía enzimática en vez del proceso clásico e hidrólisis ácida. Estas

enzimas se denominan Amiloglucosidasas o Glucoamilasas. Son exoenzimas que tienen una actividad óptima a pH=4.5-5 y T= 50-60°C (Bermúdez *et al*, 2011).

2.2.6. Jarabe de Glucosa:

Los jarabes de glucosa son producto de la hidrólisis de almidón y todos estos son mezclas de polímeros de D-glucosa. Los jarabes de glucosa se usan de acuerdo a sus diversas concentraciones en varias industrias tales como: panadería confitería, procesado de frutas, alimentos compuestos, bebidas alcohólicas, misceláneos, bebidas frías, etc. (Quitiguiña y Santacruz, 2012).

Los jarabes de D-glucosa son una mezcla entre una solución acuosa de D-glucosa, maltosa y otros oligosacáridos llamados Dextrinas. Cabe señalar que en la industria y en gran parte de la literatura especializada, se llaman jarabes glucosados a partir de una DE 20 (aunque tengan muy bajo contenido de glucosa) (Morales y Sánchez, 2004).

El jarabe de glucosa se obtiene por hidrólisis química o enzimática según los objetivos a cumplir, estos jarabes se pueden obtener de diferentes materias vegetales que son tratadas y llevadas a análisis químicos para obtener formación de moléculas de maltosa, glucosa, dextrinas y otros azúcares (Genera, 2013).

2.2.7. Maltodextrina:

Según la FDA (2017), la maltodextrina es un polímero de sacárido nutritivo no dulce que consiste en unidades de D-glucosa unidas principalmente por enlaces α -1,4 y tienen un equivalente de dextrosa (DE) menor a 20. Se prepara como un polvo blanco o solución concentrada mediante una hidrólisis parcial de almidón de maíz, almidón de papa o almidón de arroz, con ácidos o enzimas seguros y adecuados.

Las maltodextrinas tienen una gran variedad de aplicaciones, principalmente en la industria alimentaria y farmacéutica donde funcionan como: agentes estabilizantes, espesantes, extensores, reemplazadores de grasas y aceites en aderezos para ensaladas, margarinas y postres congelados, agentes encapsulantes o vehículos para procesos de secado por aspersion de pigmentos naturales, aceites esenciales, sabores, etc., ayudan a controlar la textura, la higroscopicidad y la densidad en algunos alimentos (Shamekh *et al.*, 2002).

La maltodextrina es producto de la hidrólisis intermedia del almidón, al igual que los jarabes, estos productos no son cristalizables, contienen generalmente dextrosa, maltosa y oligosacáridos (Hull, 2010), como se había mencionado, la maltodextrina tiene un equivalente de dextrosa menor a 20, lo cual genera una clasificación de éstas, con características distintas:

- Maltodextrinas con $DE \approx 5\%$ son excelentes agentes formadores de películas opalescentes, adicionan viscosidad a nivel de sólidos del 20 – 40%, presentan extremadamente baja higroscopicidad y muy baja tendencia al oscurecimiento, no proporcionan dulzor y contribuyen a la palatabilidad de los alimentos, son solubles a concentraciones del 15% de sólidos a una temperatura de 20°C .
- Maltodextrinas con $DE \approx 10\%$ presentan un poder edulcorante mínimo, muy baja higroscopicidad y baja tendencia al oscurecimiento; son solubles a concentraciones superiores al 30% de sólidos a una temperatura de 20°C .
- Maltodextrinas con $DE \approx 15\%$ presentan un ligero poder edulcorante, baja higroscopicidad y una baja tendencia al oscurecimiento; forman soluciones claras a concentraciones superiores al 50% de sólidos a una temperatura de 20°C .
- Maltodextrinas con $DE \approx 20\%$ presentan un ligero poder edulcorante, moderada higroscopicidad y moderada tendencia al oscurecimiento; sus soluciones son claras a concentraciones mayores de 60% de sólidos y a 20°C .

2.3. Definición de términos

- **Pilado del arroz:**

Llamado también molienda de arroz; es un proceso de elaboración en el que se desprenden por fricción la cascarilla, las cubiertas

externas de la cariósida y el germen del grano de arroz; en este proceso, el grano de arroz se descascara y pule para obtener el arroz blanco o elaborado.

- **Ñelén**

Es un subproducto del pilado de arroz, que se encuentra prácticamente triturado y desde el punto de vista comercial no tiene demanda para el consumo humano, lo conforman los granos quebrados menores a $\frac{1}{4}$ de la longitud de la variedad del grano de mayor contraste; es decir, granos con longitud menor a 1.5 mm.

- **Concentración de una solución**

Es la proporción o relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolvente, donde el soluto es la sustancia que se disuelve, el disolvente es la sustancia que disuelve al soluto, y la disolución es el resultado de la mezcla homogénea de las dos anteriores. A menor proporción de soluto disuelto en el solvente, menos concentrada está la solución, y a mayor proporción más concentrada está. Una disolución (solución) es una mezcla homogénea, a nivel molecular, de dos o más sustancias.

- **Dosis**

El griego δόσις es la raíz de la palabra dosis, la cual se utiliza para referir la acción de dar, otorgar o ceder, definiéndose también como cualquier cantidad, trozo o porción de algo, que bien podría ser de características materiales o inmateriales. En términos generales, las

dosis frecuentemente se realizan para efectuar las mediciones de productos químicos.

- **Reacción Enzimática**

Son aquellos procesos biológicos que se llevan a cabo en el interior de una célula en los que tiene lugar una enzima, la cual presenta un complejo proteico con propiedad catalizadora, que acelera dichos procesos. Esto se debe a que cada reacción presenta una energía de activación, que es una barrera energética que tienen que vencer los reactivos para transformarse en productos; la enzima, disminuye esa barrera para que sea más fácil convertirse en productos.

- **Tiempo de Reacción Enzimática**

Es el tiempo que requiere una determinada cantidad o dosis de enzima a determinadas condiciones de temperatura, pH y concentración de sustrato, para llevar a cabo un proceso de reacción biológica, a fin de convertir algún componente específico del sustrato en productos de la reacción.

- **Concentración de maltodextrina**

Es medido por la Dextrosa Equivalente (DE), que indica el grado de hidrólisis que le ocurre al almidón. Esto puede variar entre 0 y 100; sin embargo, para la obtención de maltodextrina se espera valores entre 0 y 20.

CAPÍTULO III

VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1. Definición de las variables

3.1.1. Variable dependiente:

Concentración de maltodextrina, obtenida mediante hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz.

3.1.2. Variables independientes:

- Concentración de almidón de ñelén de arroz.
- Dosis de enzima α -amilasa.
- Tiempo de reacción de la enzima.

3.2. Operacionalización de variables

Se puede observar en la tabla 3.1.

TABLA 3.1. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Variables		Dimensiones	Indicadores	Niveles
Variables Independientes	Almidón de ñelén de arroz	Concentración de almidón	Porcentaje de almidón en solución	20 – 50%
	Enzima α -amilasa	Dosis de enzima	Miligramos de enzima / g de solución	0.2 – 1 mg/g
	Tiempo	Tiempo de reacción	Minutos	30 – 80 minutos
Variable dependiente	maltodextrina	Concentración de maltodextrina	Dextrosa Equivalente	0 – 100

3.3. Hipótesis

3.3.1. Hipótesis General

Se obtendrá maltodextrina a partir de almidón de ñelén de arroz, utilizando parámetros óptimos de concentración de almidón, dosis de enzima y el tiempo de reacción, mediante hidrólisis enzimática.

3.3.2. Hipótesis Específicas

- Utilizando una concentración óptima de sustrato, durante la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz, se obtendrá maltodextrina.
- Utilizando una dosis óptima de enzima, durante la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz, se obtendrá maltodextrina.
- Determinando el tiempo óptimo de reacción, de la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz, se obtendrá maltodextrina.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1. Tipo de investigación:

Experimental

4.2. Diseño de la Investigación:

4.2.1. Materiales:

- **Materia prima:**

Ñelén de arroz (*Oryza Zativa* L.); adquirido del mercado de productores de Santa Anita, en donde se comercializa como alimento para animales domésticos; producto que es abastecido de molinos piladores de la región costa del departamento de Ancash.

- **Enzima:**

α -amilasa, marca HARIZYME 5000: Se obtiene mediante la fermentación sumergida del *Aspergillus oryzae* y es comercializada por DELTAGEN del Perú. De acuerdo a la especificación técnica, la enzima está estandarizada para dar una actividad de 5000 SKBU/g., siendo una unidad SKB, la actividad que dextriniza un gramo de sustrato de dextrina límite por hora en las condiciones e ensayo.

- **Reactivos:** Cloruro de sodio, cloruro de calcio, glucosa anhidra, reactivo DNS (ácido 3.5 dinitrosalicílico).

- **Instrumentos y equipos:** molino de martillos de marca IKA®, Espectrofotómetro marca AquaMate 8000 UV-Vis, agitador rotatorio marca SHAKER, centrífuga marca Hettich, estufa marca MEMMERT, cocina eléctrica, molino manual.
- **Material de vidrio y otros:** vasos de precipitación, matraces, probetas, pipetas, tubos de ensayo, fiolas, varillas de agitación, embudo, frascos para muestras, recipientes plásticos, espátulas, gradillas, papel pHmetro, papel filtro, tamiz N° 100, tamiz de tela, termómetros, rodillo.

4.2.2. Métodos:

A. Diseño Experimental

Se usó un Diseño Central Compuesto Rotacional (DCCR) para 3 variables independientes (concentración de almidón de ñelén de arroz en porcentaje, concentración de la enzima en mg/g, y tiempo de reacción de la enzima en minutos) lo cual generó 14 ensayos más 2 puntos centrales, el arreglo del diseño se observa en la tabla 4.1

TABLA 4.1. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE MALTODEXTRINA POR HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA

Tratamiento	Concentración Almidón (%)	Concentración enzima (mg/g)	Tiempo de reacción enzima (min)
1	26.1	0.4	40.00
2	26.1	0.4	70.00

Tratamiento	Concentración Almidón (%)	Concentración enzima (mg/g)	Tiempo de reacción enzima (min)
3	26.1	0.8	40.00
4	26.1	0.8	70.00
5	43.9	0.4	40.00
6	43.9	0.4	70.00
7	43.9	0.8	40.00
8	43.9	0.8	70.00
9	20.0	0.6	55.00
10	50.0	0.6	55.00
11	35.0	0.2	55.00
12	35.0	1.0	55.00
13	35.0	0.6	30.00
14	35.0	0.6	80.00
15	35.0	0.6	55.00
16	35.0	0.6	55.00

A estos ensayos se evaluó la concentración de maltodextrina obtenida en forma de Dextrosa Equivalente (DE).

B. Proceso de obtención de Maltodextrina

a) Obtención del almidón de ñelén de arroz

El Ñelén fue molido en una molinera de granos de la ciudad de Lima, en un molino de martillos de marca IKA® Alemana. Esta harina fue tamizada en forma manual utilizando un tamiz N° 100, y un molino manual, con el que se obtuvo una harina con un grado de partículas ≤ 150 micras de diámetro. Una vez tamizada, la harina fue envasada en frascos de plástico con tapa hermética,

los cuales fueron debidamente identificados y almacenados en un lugar seco y a temperatura ambiente para su posterior uso.

El ñelén molido y tamizado se colocó en recipientes plásticos y se diluyó con agua en proporción 5 a 1, para luego remover con la mano a manera de lavado y filtrar con un tamiz de tela, a fin de separar la parte líquida (que contiene el almidón) de la parte sólida (bagazo). La parte líquida se dejó sedimentar por un tiempo de 12 horas en probetas de vidrio de 1000 ml, hasta que el almidón quedó en el fondo del recipiente. Se retiró el agua y el sedimento fue lavado 4 veces para obtener finalmente el almidón libre de impurezas. El almidón se secó a temperatura de 50°C durante 12 horas en una estufa marca MEMMERT, luego se realizó el molido manual con un rodillo.

b) Dilución del Almidón y ajuste del pH

Esta etapa se realizó de la siguiente manera: se pesó el almidón de ñelén de acuerdo a la concentración estudiada y se colocó en un vaso precipitado de 1000 mL; se adicionó 1.5 g de Cloruro de sodio (NaCl) y 0.25 g de Cloruro de Calcio (CaCl₂). Se completó con agua destilada hasta 500 mL, y se midió el pH de la solución hasta llegar a pH 6.0.

c) Calentamiento de la dilución

Esta solución se colocó en una cocina eléctrica y se inició el calentamiento con agitación constante utilizando una varilla de

vidrio hasta llegar a los 50°C, la temperatura fue controlada colocando un termómetro inmerso en la solución, luego se trasvasó la dilución en un matraz, el cual se colocó en un agitador rotatorio SHAKER, regulado a temperatura de 50°C y agitación de 200 RPM.

d) Adición de la enzima α -amilasa

La adición de la enzima se realizó de la siguiente manera: una vez llegada la temperatura de la dispersión a 50°C, se tomó con una pipeta la cantidad adecuada de solución enzimática de acuerdo a cada dosis estudiada y se inoculó directamente en la dispersión contenida en el matraz, luego se continuó agitando a 200 RPM el agitador rotatorio SHAKER, regulado a 50°C.

e) Reacción Enzimática

Esta operación se realizó de la siguiente manera: una vez colocado el matraz en el agitador rotatorio SHAKER, regulado a temperatura de 50°C y agitación de 200 RPM, se mantuvo en estas condiciones durante el tiempo de acuerdo al diseño estadístico.

f) Inactivación de la enzima

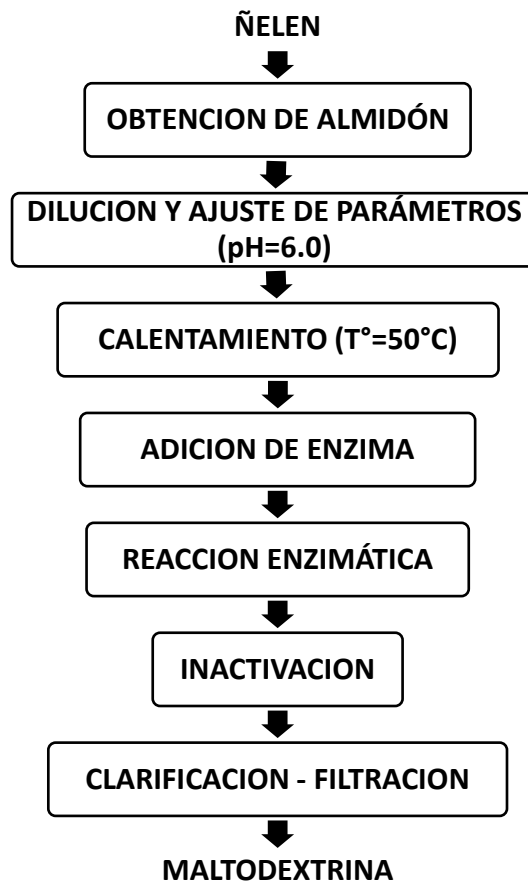
Culminado el tiempo de reacción, se realizó la inactivación de la enzima por ebullición de la suspensión, durante 5 minutos en una cocina eléctrica, luego se enfrió a temperatura ambiente.

g) Clarificación y filtración

El producto obtenido fue filtrado, pasándolo a través de papel filtro, luego el líquido fue centrifugado para separar las pequeñas partículas que quedaron.

El diagrama de flujo del proceso de obtención de maltodextrina, se detalla en la figura 4.1.

FIGURA 4.1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE MALTODEXTRINA POR EL MÉTODO ENZIMÁTICO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE ÑELÉN



4.3. Población y muestra:

La cantidad de muestra de ñelén utilizada durante la investigación fue de 10 kg, muestra suficiente para el número total de experimentos requeridos a fin de determinar los parámetros óptimos de la hidrólisis enzimática del almidón, para obtener maltodextrina.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos tuvo como enfoque la determinación de maltodextrina en forme de Dextrosa Equivalente (DE) de la obtenida a partir de la hidrólisis enzimática; para lo cual, se mantuvo correcto y exacto las mediciones de las variables: concentración de almidón, concentración de la enzima α -amilasa y tiempo de reacción de la enzima.

Para ello, fue de suma importancia mantener los equipos e instrumentos bien calibrados y en óptimas condiciones de uso, además de seguir un adecuado protocolo de trabajo en laboratorio.

4.5. Procedimientos de recolección de datos:

La recolección de datos consistió de las siguientes etapas: obtención del almidón de ñelén de arroz, preparación de soluciones de almidón a diferentes concentraciones, adición de la enzima a una dosis determinada, acción de la enzima durante un tiempo determinado y determinación de Dextrosa Equivalente del producto hidrolizado obtenido. Todo esto se logró realizar a nivel laboratorio.

La determinación de Dextrosa Equivalente (DE) se realizó de la siguiente manera:

4.5.1. Determinación del contenido de Azúcares Reductores

Se determinó por el método de ácido dinitrosalicílico (DNS) recomendado por James (1999), que consiste en tomar 1 mL de la solución acuosa de la muestra, adicionar 1 mL del reactivo de DNS y calentar por 5 min en un baño de agua hirviente, enfriar y diluir con 10 mL de agua destilada. Leer la absorbancia del color producido a 540 nm frente a un blanco de reactivos y agua tratado igual que la muestra. Cuantificar los azúcares reductores interpolando los valores de absorbancia obtenidos en una curva estándar preparada con el carbohidrato reductor de interés en concentraciones de 2.004 a 6.668 mg/mL.

4.5.2. Determinación de Dextrosa Equivalente

El equivalente de dextrosa (D.E.) es un valor que indica la concentración de azúcares reductores en términos de porcentaje o en términos de gramos de azúcares reductores por cada 100 gramos de sustrato. Este valor se obtuvo utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{D.E.} = \frac{\text{A.R.}}{\text{M}} \times 100$$

Donde:

A.R. = Es la concentración de azúcares reductores en términos de gramos/litro.

M = Es la concentración de la dilución de la muestra en términos de gramos / litro, utilizada para la determinación de azúcares reductores.

4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos

El diseño estadístico empleado fue el Diseño Central Compuesto Rotacional (DCCR) para 3 variables independientes, siendo en total 16 tratamientos incluyendo 2 puntos centrales.

Los datos fueron llevados al software STATISTICA 12.0 para la validación de las variables de optimización a través del ANOVA. Además se obtuvo el gráfico de análisis de superficie de respuesta para evaluar los rangos óptimos de las variables.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

Una vez realizada la extracción del producto hidrolizado del almidón de ñelén de arroz, se determinó la concentración de ésta, la cual se observa en la tabla 5.1

TABLA 5.1. CONCENTRACIÓN DE MALTODEXTRINA OBTENIDA POR LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN DE ÑELEN DE ARROZ, LA DOSIS DE ENZIMA Y EL TIEMPO DE REACCIÓN.

T	Concentración Almidón (%)	Concentración enzima (mg/g)	Tiempo reacción enzima (min)	Concentración maltodextrina (DE)
1	26.1	0.4	40.00	8.1
2	26.1	0.4	70.00	8.6
3	26.1	0.8	40.00	10.0
4	26.1	0.8	70.00	11.7
5	43.9	0.4	40.00	7.5
6	43.9	0.4	70.00	10.7
7	43.9	0.8	40.00	11.0
8	43.9	0.8	70.00	11.3
9	20.0	0.6	55.00	7.6
10	50.0	0.6	55.00	12.4
11	35.0	0.2	55.00	4.8
12	35.0	1.0	55.00	12.1
13	35.0	0.6	30.00	5.2
14	35.0	0.6	80.00	12.1
15	35.0	0.6	55.00	11.3
16	35.0	0.6	55.00	10.9

Estos resultados fueron llevados al software STATISTICA 12.0, el cual arrojó los siguientes coeficientes de regresión (tabla 5.2).

**TABLA 5.2. COEFICIENTES DE REGRESIÓN PARA LA
CONCENTRACIÓN DE MALTODEXTRINA.**

Factor	Efecto	Error estándar	p
Intersección	11.14643	1.163789	0.000074
(1) Concentración Almidón, (%) (Lineal)	1.48963	0.891068	0.145608
Concentración Almidón, (%) (Cuadrático)	-0.50395	1.108722	0.665428
(2) Dosis enzima, (mg/g) (Lineal)	2.96250	0.823970	0.011429
Dosis enzima, (mg/g) (Cuadrático)	-1.19529	0.807483	0.189298
(3) Tiempo de reacción enzima, (min) (Lineal)	2.53770	0.895184	0.029768
Tiempo de reacción enzima, (min) (Cuadrático)	-1.48033	1.131005	0.238474
1 Lineal by 2 Lineal	-0.22500	1.165269	0.853260
1 Lineal by 3 Lineal	0.32500	1.165269	0.789681
2 Lineal by 3 Lineal	-0.42500	1.165269	0.727829

Los valores de la tabla exponen el modelo matemático de los términos lineales, términos cuadráticos e interacciones de segundo orden que se aplicó dentro del experimento.

De esta manera, el modelo matemático que prediga la variable dependiente concentración de maltodextrina (Y), en función de la concentración de almidón de ñelén (X_1), dosis de enzima (X_2) y tiempo de reacción (X_3), quedó expresado:

$$Y = 11.14643 + 1.48963X_1 - 0.50395X_1^2 + 2.96250X_2 - 1.19529X_2^2 + 2.53770X_3 - 1.48033X_3^2 - 0.22500X_1X_2 + 0.32500X_1X_3 - 0.42500X_2X_3$$

Donde:

Y: Concentración de maltodextrina

X₁: Concentración de almidón de ñelén de arroz

X₂: Dosis de enzima α-amilasa

X₃: Tiempo de reacción

El modelo matemático obtuvo un coeficiente de regresión R²=81.78%

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA), para evaluar el efecto significativo de cada variable (tabla 5.3.)

TABLA 5.3. ANOVA DE CADA FACTOR E INTERACCIONES PARA LA CONCENTRACIÓN DE MALTODEXTRINA, OBTENIDO POR SOFTWARE STATISTICA 12.0

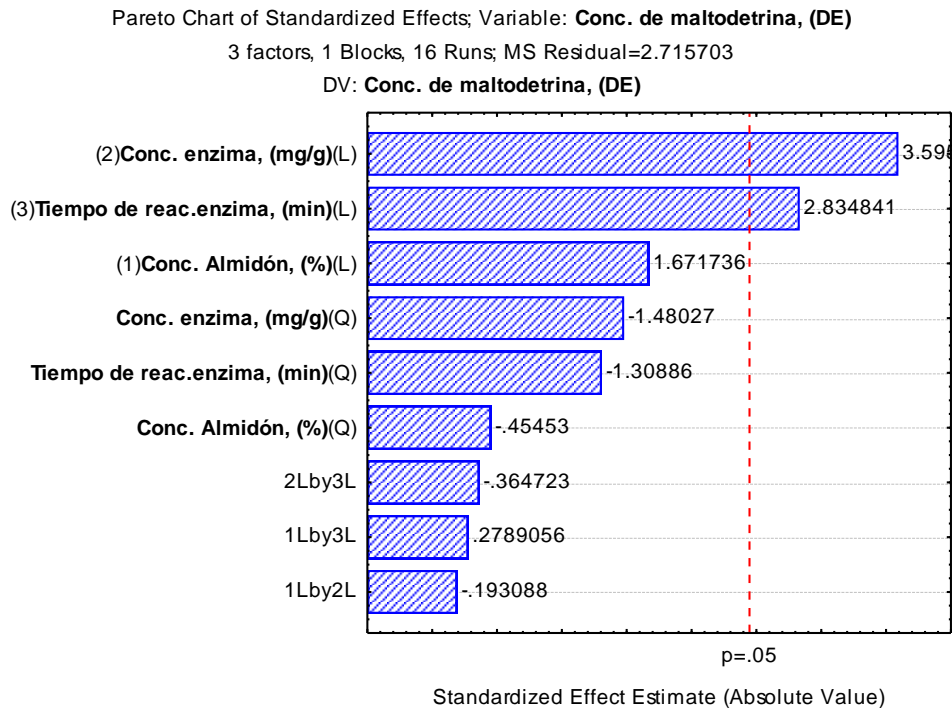
Factor	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p
(1) Concentración Almidón (%) (Lineal)	7.58958	1	7.58958	2.79470	0.145608
Concentración Almidón (%) (Cuadrático)	0.56106	1	0.56106	0.20660	0.665428
(2) Concentración enzima (mg/g) (Lineal)	35.10563	1	35.10563	12.92690	0.011429
Concentración enzima (mg/g) (Cuadrático)	5.95064	1	5.95064	2.19120	0.189298
(3) Tiempo de reacción Enzima (min) (Lineal)	21.82426	1	21.82426	8.03632	0.029768
Tiempo de reacción enzima (min) (Cuadrático)	4.65231	1	4.65231	1.71312	0.238474

Factor	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p
1 Lineal by 2 Lineal	0.10125	1	0.10125	0.03728	0.853260
1 Lineal by 3 Lineal	0.21125	1	0.21125	0.07779	0.789681
2 Lineal by 3 Lineal	0.36125	1	0.36125	0.13302	0.727829
Error	16.29422	6	2.71570		
Total SS	89.42938	15			

La tabla 5.3 muestra que el experimento resulta ser significativo ($p < 0.05$) para la dosis de enzima lineal; y tiempo de reacción de la enzima lineal; de lo cual se infiere que por lo menos existe un tratamiento que tiene diferencia significativa en el proceso de hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz para la obtención de maltodextrina.

Además del análisis de varianza para cada factor y sus interacciones de segundo orden que se muestra en la tabla 5.3, se puede corroborar el efecto significativo que tiene cada uno de ellos en el proceso experimental; a través del diagrama de Pareto (Figura 5.1).

FIGURA 5.1. DIAGRAMA DE PARETO PARA LA CONCENTRACIÓN DE MALTODEXTRINA



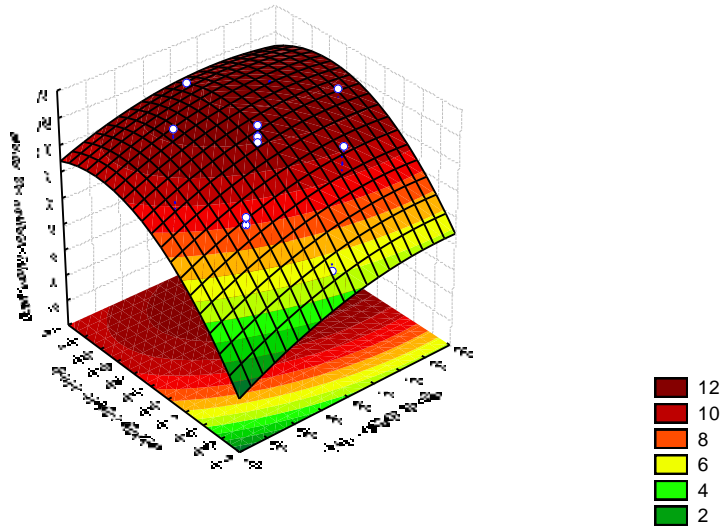
Se observa que las variables: concentración de la enzima (lineal) y el tiempo de reacción (lineal), resultaron ser significativos ($p < 0.05$).

Para la determinación de los parámetros óptimos de las variables independientes: concentración de almidón, dosis de enzima y tiempo de reacción; para la obtención de la concentración de maltodextrina producto de la hidrólisis del almidón de ñelén de arroz; los resultados se ilustraron mediante gráficos de superficie de respuesta y el de contorno.

Debido a que son 3 variables independientes, los gráficos muestran interacciones de 2 variables, obteniéndose seis gráficas en total.

**FIGURA 5.2. GRÁFICO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA
CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN VS DOSIS DE ENZIMA**

Fitted Surface; Variable: **Conc. de maltodetrina, (DE)**
3 factors, 1 Blocks, 16 Runs; MS Residual=2.715703
DV: **Conc. de maltodetrina, (DE)**



**FIGURA 5.3. GRÁFICO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA
TIEMPO DE REACCIÓN VS CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN**

Fitted Surface; Variable: **Conc. de maltodetrina, (DE)**
3 factors, 1 Blocks, 16 Runs; MS Residual=2.715703
DV: **Conc. de maltodetrina, (DE)**

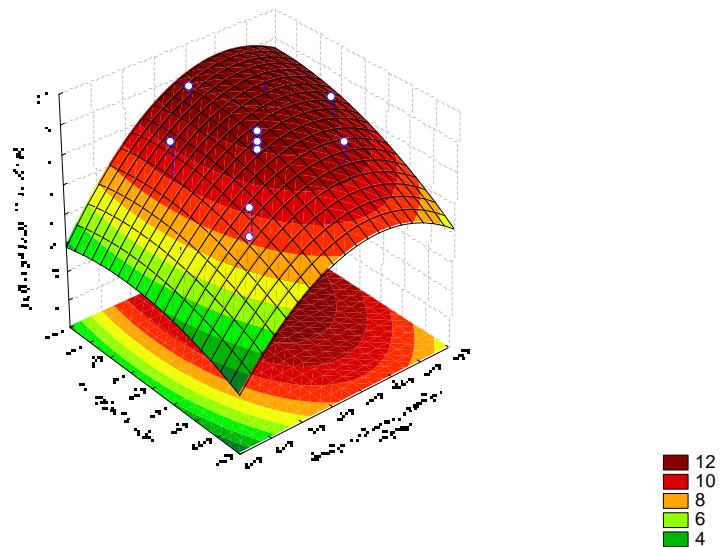


FIGURA 5.4. GRÁFICO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

DOSIS ENZIMA VS TIEMPO DE REACCIÓN

Fitted Surface; Variable: **Conc. de maltodetrina, (DE)**
3 factors, 1 Blocks, 16 Runs; MS Residual=2.715703
DV: **Conc. de maltodetrina, (DE)**

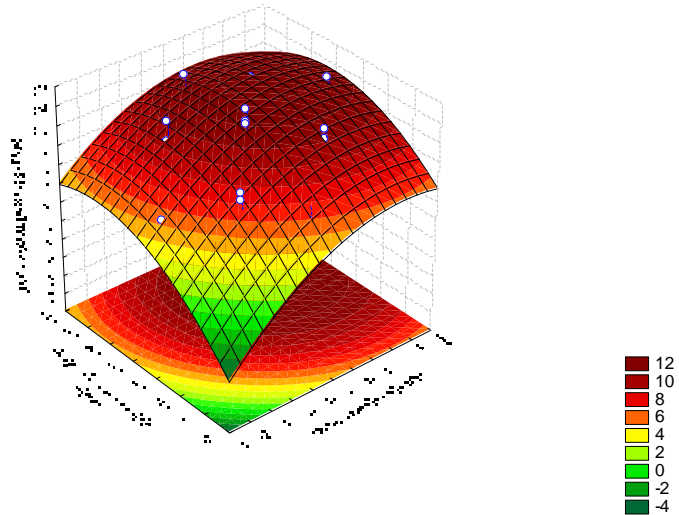


FIGURA 5.5. GRÁFICO DE CONTORNO

CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN VS DOSIS ENZIMA

Fitted Surface; Variable: **Conc. de maltodetrina, (DE)**
3 factors, 1 Blocks, 16 Runs; MS Residual=2.715703
DV: **Conc. de maltodetrina, (DE)**

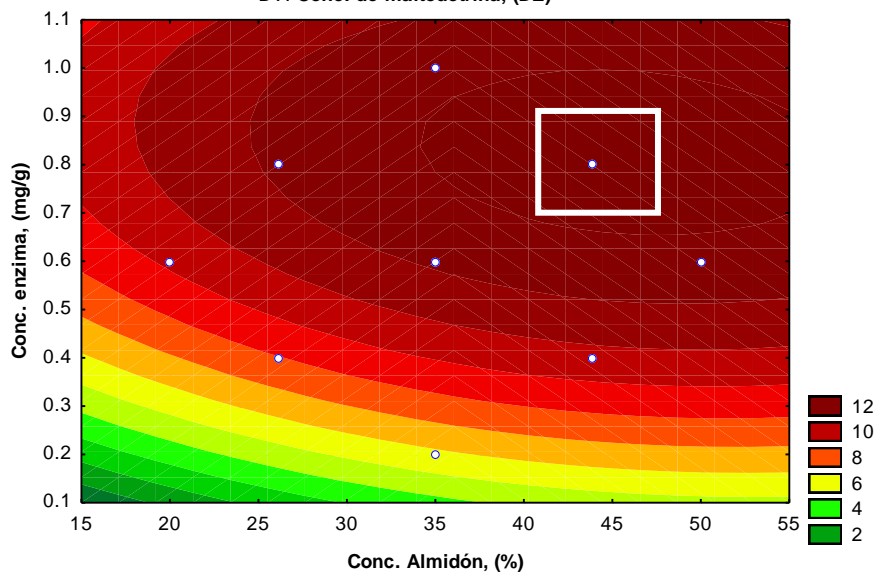


FIGURA 5.6. GRÁFICO DE CONTORNO

TIEMPO DE REACCIÓN VS CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN

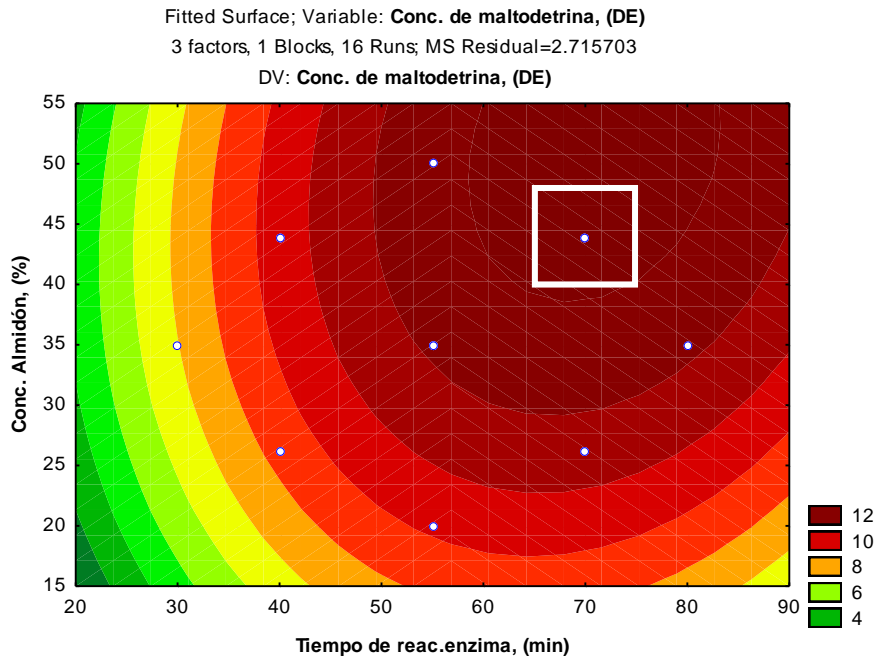
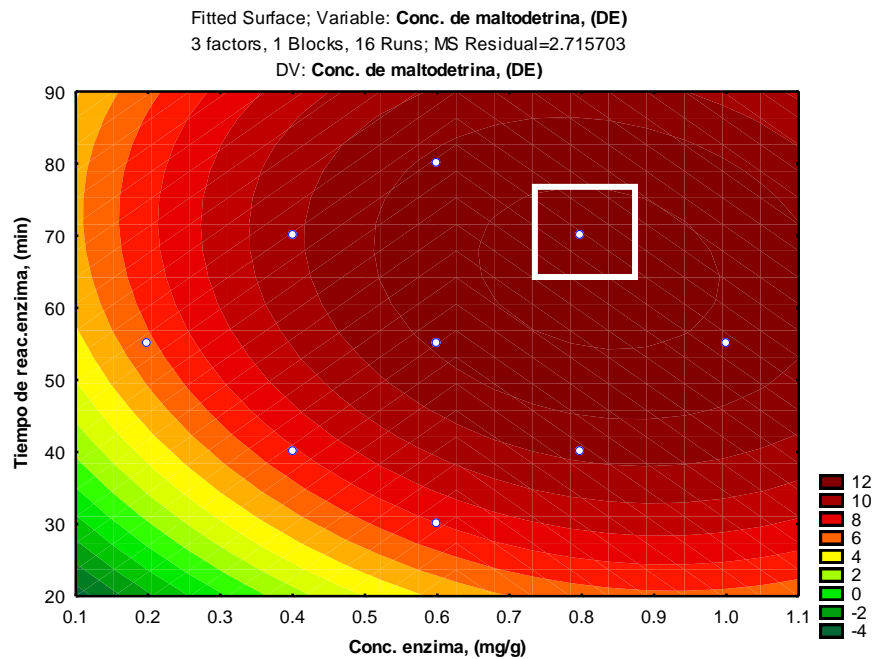


FIGURA 5.7. GRÁFICO DE CONTORNO

DOSIS ENZIMA VS TIEMPO DE REACCIÓN



CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados

La hipótesis principal prevista fue que se obtendrá maltodextrina a partir de almidón de ñelén de arroz, utilizando parámetros óptimos de la concentración de almidón, concentración de la enzima y el tiempo de reacción mediante la hidrólisis enzimática. De esta manera, nuestros resultados mostraron las concentraciones de maltodextrina obtenida por la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz en la tabla 5.1 y fue óptimo para el mayor de éstos, siendo de 12.4 DE. Además, resultó que 2 de las 3 variables independientes resultaron significativos ($p < 0.05$)

Asimismo, los gráficos de contorno (Figura 5.5, 5.6 y 5.7) muestran los rangos óptimos de las variables independientes, resultando una concentración de almidón 40 – 60%; dosis de enzima 0.72 – 0.98 mg/g y un tiempo de reacción de 60 – 75 minutos.

6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares

Los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango teórico en el que se expresa las maltodextrinas siendo considerados productos hidrolizados de almidón. Por su lado Antonio-Estrada (2009), obtuvo maltodextrinas con equivalentes de dextrosa (ED) de 15,12 y

17,48% a 95 °C por 48,6 y 79,4 min respectivamente, mediante la hidrólisis equivalente del almidón de malanga; siendo un poco mayor al obtenido.

Estos resultados observados en la tabla 5.1 estuvieron en un rango de 5.2 – 12.4 de maltodextrosa expresado en contenido de Dextrosa Equivalente como producto de la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz. Estos valores están dentro del rango con las concentraciones de maltodextrina reportados por Medina-García (2013), que estiman entre 5.2 y 20.3 de contenido de Dextrosa Equivalente; la técnica empleada en este estudio fue la hidrólisis enzimática, sin embargo estos autores fijaron el tiempo para obtener la maltodextrina de 5, 10, 15 y 20. A pesar de eso, Singh y Cheryan (1998) opinan que los jarabes obtenidos por vía ácida poseen una concentración expresado en DE entre 30 -55, mientras que por la vía enzimática se pueden obtener jarabes de superior concentración.

Chávez (2002) asegura que las enzimas son el método más utilizado para convertir almidones en glucosa, pasando por las concentraciones de maltodextrinas. El alto costo de la enzima generalmente se ve justificado por su eficiencia en la reacción; además, la hidrólisis enzimática, en comparación con al hidrólisis ácida, permite un mejor control de la formación de productos no deseables y mayor flexibilidad del producto.

Mera y Carrera (2005) lograron extraer glucosa con hasta 90% de Dextrosa Equivalente en la hidrólisis de almidón de yuca empleando enzimas α -amilasas BAN – 480 producido por la cepa *Bacillus amyloliquefaciens*; AMG 300L de Novo Nordisk; y amiloglucosidasa proveniente del *Aspergillus niger*. Como se mencionó, sus valores fueron altos por el uso de la enzimas en el proceso de hidrolizado, así como los valores que se obtuvo en la tabla 5.1, empleando solamente α -amilasas pero de origen fúngico lo que permitió valores bajos de DE en comparación con los obtenidos por estos autores.

De las figuras 5.2, 5.3 y 5.4 , se puede inducir que los parámetros óptimos para la obtención de maltodextrinas de mayor concentración, tras la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz son: concentración de almidón 40 – 60% ; dosis de enzima 0.72 – 0.98 (mg/g) y un tiempo de reacción de 60 – 75 minutos; Bermudez & Casquete (2011) detallan que su mejor rendimiento de obtención de productos hidrolizados tras la hidrólisis de la harina de almidón, fue emplear una temperatura de 70°C en el proceso de hidrolizado, un tiempo de 45 minutos, y una relación de enzima-sustrato de 1-10 (por cada gramo de enzima se emplean 10 gramos de almidón), llegando a tener un jarabe hasta 80% de concentración de sólidos.

Díaz y otros (2002) lograron obtener maltodextrinas de hasta 30% de contenido de Dextrosa Equivalente modificando su temperatura (80-

90°C), pH (5,5-6,5), concentración de almidón (30-40% w/w), adición de enzima (0,583-0,833 ul/g almidón) y adición de cofactor (50-70 mg/L de CaCl₂), pero resume la extracción con 21.7 DE/hora. Estos valores podrían englobar a los mostrados en la tabla 5.1, pues depende del tiempo prolongado de reacción que se le aplique.

Quitiguiña y Santacruz (2012) calcula que el tiempo óptimo de hidrólisis fue de 2 horas empleando la enzima α -amilasa proveniente de *Bacillus amyloliquefaciens*, lo cual permitió degradar el almidón hasta dextrinas; sin embargo, al emplear la enzima amiloglucosidasa del *Aspergillus niger*, recomienda que el tratamiento que emplea 1.5 ml de enzima durante 14 horas, lo que permite obtener un rendimiento de producto hidrolizado de 90.14%, valor muy alto a lo obtenido en esta investigación, debido a sus tiempos prolongados de reacción.

A mayor concentración de almidón, la enzima α -amilasa va a ser capaz de reaccionar e hidrolizarla en condiciones óptimas, a la amilosa presente, logrando obtener un producto de mayor concentración en sus maltodextrinas, azúcares reductores y glucosa (Figura 5.2 y 5.5)

Del mismo modo, Piñero, Montaña y Cubas (2007) obtuvieron un producto líquido parcialmente hidrolizado mediante procesos enzimáticos de licuefacción y sacarificación del almidón de sulú, estableciendo que con una concentración de 0.2% de la enzima

Termamyl se obtuvo la mayor producción de azúcares reductores (6.09%) y sólidos solubles (16.4°Brix); el mayor grado de sacarificación se logró con 0.24% de la enzima SAN Super y 150 minutos (20.15% de azúcares reductores y 28°Brix). El producto que se obtuvo a 90 minutos de sacarificación contenía 14% de almidón residual, 11.68% de glucosa, 16.45% de azúcares reductores y 28°Brix. Como se observa el rendimiento aumenta a medida que se prolongue el tiempo, de igual modo, la variable tiempo resultó significativo ($p < 0.05$) en nuestra investigación, la concentración de maltodextrina es mayor a medida que el tiempo de reacción aumenta (Figura 5.6 y 5.7)

Los rangos reportados por Calixto y Arnao (2004), tras la modificación enzimática del almidón de granos opacos, fueron 10% sustrato, 1.4 mg/g de enzima, incubado a 80°C durante 90 minutos, presentó 46% de Dextrosa Equivalente, en esta investigación el valor óptimo fue 61.84 DE, empleando parámetros similares a los mencionados.

En cuanto a la concentración del almidón que actúa en el proceso de hidrólisis, fue óptimo a una dosis alta de esta, 0.72 – 0.98 mg/g, los que ocasionaron una mayor concentración de maltodextrina del producto hidrolizado; en lo referente, Vidal & Páez (2011) indica que a una concentración de almidón de 36%, el porcentaje de azúcares reductores y °Brix están entre 6.87 – 30.23 y 34 – 37,

respectivamente, utilizando 5 tipos de enzimas; mientras que a una concentración de almidón de 46%, esos valores oscilan 10.54 – 52.05% de azúcares reductores y 42.6 – 60.2 °Brix, en las mismas condiciones; lo que demuestra que si el sustrato aumenta su contenido, también lo hará la concentración del producto resultante. Esto concuerda con los resultados interpretados de las figuras, donde mientras más porcentaje de almidón se use, el producto resulta con una mayor concentración.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

1. Se logró obtener un producto hidrolizado enzimáticamente a partir del almidón de ñelén de arroz, cuyas concentraciones estuvieron en el rango de 5.2 a 12.4 de contenido de Dextrosa Equivalente (DE), valores normales a lo que reporta teóricamente a las maltodextrinas.
2. La concentración de almidón no resultó ser significativo, pero sus niveles óptimos fueron entre 40 – 60% para la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz.
3. La dosis de enzima óptima fue 0.72 – 0.98 mg/g en la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz.
4. El tiempo de reacción fue una factor muy importante y sus parámetros óptimos se encontraron entre 60 – 75 minutos en la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz.
5. Se determinó además, que las variables dosis de enzima α -amilasa y tiempo de reacción de hidrólisis fueron significativos ($p < 0.05$), y permitieron formular un modelo matemático para obtener la mejor concentración de maltodextrina, con un $R^2 = 81.78\%$.

CAPÍTULO VIII

RECOMENDACIONES

1. Se podrían emplear otras enzimas y comparar su efecto en la hidrólisis del almidón de ñelén de arroz o de otros subproductos.
2. A los productos obtenidos tras la hidrólisis se le podrían dar una vía alternativa para la elaboración de alcoholes mediante la fermentación, o de ser el caso, elaborar otros productos siguiendo otras metodologías.
3. Evaluar el efecto que tiene este producto como alimento y aporte nutricional para las personas.

CAPÍTULO IX

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Antonio-Estrada, C., Bello-Pérez, L., Martínez-Sánchez, C., Montañez-Soto, J., Jiménez-Hernández, J., & Vivar-Vera, M. (2009). Producción enzimática de maltodextrinas a partir de almidón de malanga (*Colocasia esculenta*) . *Cyta-Journal of food*7(3), 233-241.
2. Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. México: Pearson Educación.
3. Bermudez, J., & Casquete, J. (2011). *Elaboración de edulcorantes a partir de almidones aplicando α y β amilasas de origen vegetal*. Ecuador: Universidad de Guayaquil.
4. Calixto, M., & Arnao, I. (2004). Modificación enzimática del almidón nativo de *Amaranthus caudatus* Linneo. *Revista Sociedad Química del Perú*70(1), 2-8.
5. Calvo, M. (1994). *Bioquímica de los alimentos*. Madrid: AEPLA.
6. Chávez, D. (2002). *Elaboración de jarabe de glucosa partiendo del almidón de camote (*Ipomea batata* L.)*. Honduras: Universidad de Zamorano.
7. Cheftel, J.-C. C. (1999). *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*. Zaragoza, España: Acribia.
8. De la Cruz, A., & Yalta, J. (2017). *Efecto de la concentración de HCl y tiempo de hidrólisis en el rendimiento de la glucosa para la*

obtención de bioetanol a partir de almidón Manihot esculenta yuca dulce. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.

9. Diaz, M., Filella, M., & Velásquez, M. (2002). Estudio de la modificación vía enzimática de almidón de yuca para obtención de maltodextrinas. *Revista Colombiana de Biotecnología*4(1), 79-88.
10. Elías, A., & Diaz, L. (2014). *Proceso productivo del arroz*. Chiclayo: Universidad Señor de Sipán.
11. FDA. (2017). *Maltodextrins*.
12. Genera, F. (2013). *Obtención de jarabes azucarados a partir de la hidrólisis química de residuos de cáscara de naranja (citrus sinesis) variedad valencia y papa (solanum tuberosum) variedad diacol capiro para ser empleados como edulcorantes en la industria de alimentos* . Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
13. Guerrero, C., Huamán, Y., Sandoval, L., & Swayne, J. (2012). *Control estadístico de la empresa induamérica SL S.A.C*. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
14. Hull, P. (2010). *Glucose syrups: Technology and Applications*. ISBN, 388.
15. Illanes, A. (1994). *Bioteconlogía de las enzimas*. *Universitaria Valparaiso*, 200-201.
16. Medina-García, L. (2013). *Obtención de maltodextrinas por vía enzimática a partir del aalmidón de camote (ipomoea batatas)*. Michoacán: Instituto Politécnico Nacional.

17. Melo-Sabogal, D., Torres-Grisales, Y., Serna-Jiménez, J., & Torres-Valenzuela, L. (2015). Aprovechamiento de pulpa y cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* spp) para la obtención de maltodextrina. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*13(2), 76-85.
18. Mendoza, R. (2017). *Hidrólisis química y enzimática de un extracto de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) para la obtención de fructosa*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
19. Mera, I., & Carrera, J. (2005). Obtención de glucosa a partir de almidón de yuca. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*3(1), 54-63.
20. Montes, E., Salcedo, J., José, Z., Carmona, J., & Paternina, S. (2008). Evaluación de las propiedades modificadas por vía enzimática del almidón de ñame (*D. trifida*) utilizando α -amilasa (Teramyl 120L, Tipo L). *Vitae*15(1), 51-60.
21. Morales, Y., & Sánchez, I. (2004). *Diseño conceptual y comparación técnica de los procesos de hidrólisis ácida y enzimática para la producción de glucosa a partir de almidón de yuca*. Escuela de Ingeniería Química Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
22. Piñero, J., Montaña, G., & Cubas, L. (2007). Obtención de un producto líquido mediante hidrólisis enzimática de almidón de sulú (*Maranta arundinaceae* L.). *Agrollanía*, 4, 63-76.

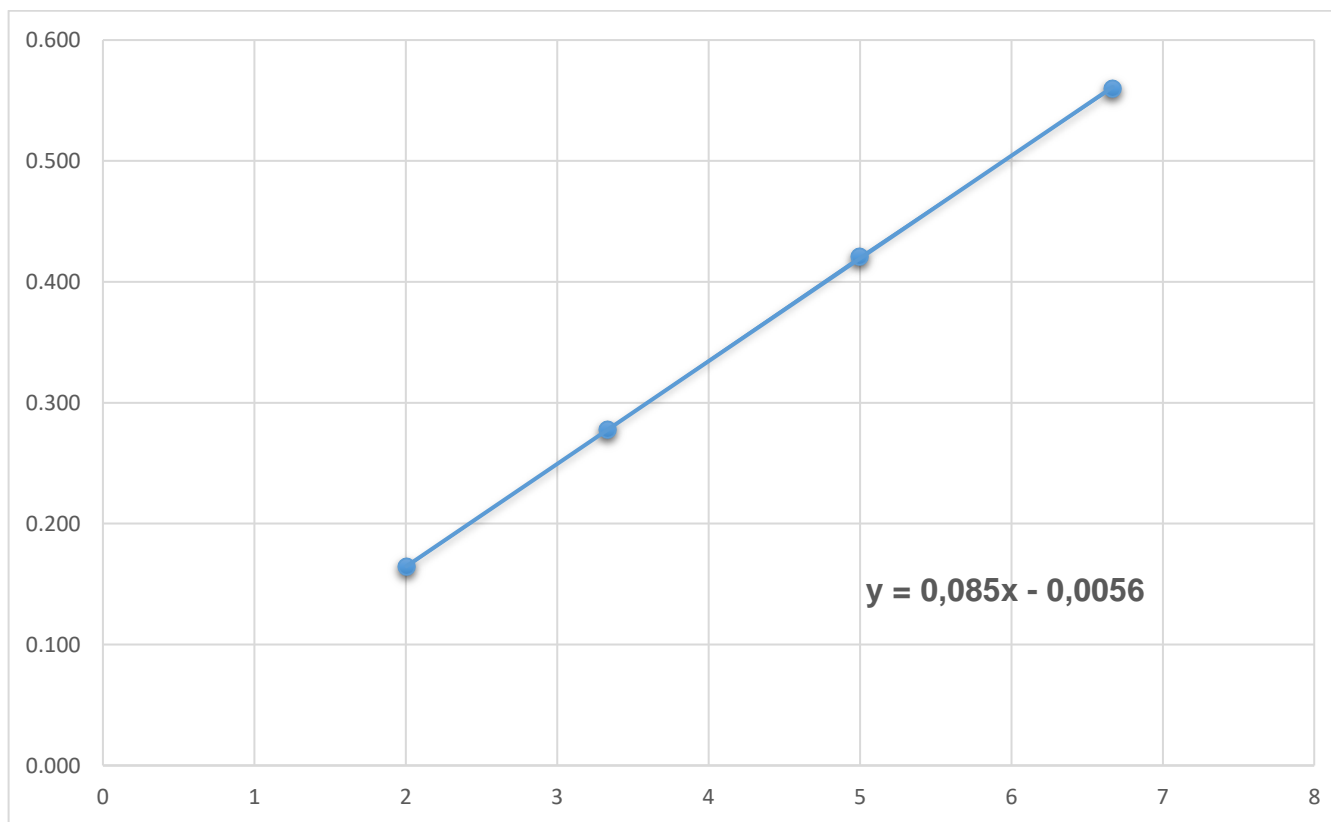
23. Quitiguiña, C., & Santacruz, S. (2012). Obtención de jarabe de glucosa a partir de la hidrólisis enzimática de almidón de banano Musa Cavendish. *Revista Boliviana de Química*29(1), 55-62.
24. Reyna, L., Robles, R., Reyes, M., & Romero, J. (2004). Hidrólisis enzimática del almidón. *Revista Peruana Química*7(1), 40-44.
25. Rodriguez, M. (2007). *Determinación de composición química y las propiedades físicas y químicas del pulido de arroz (Oryza Sativa L.)*. Universidad Austral de Chile.
26. Salcedo, J., Montes, E., & Pájaro, J. (2009). Producción de jarabe de fructosa por medio de hidrólisis enzimática del almidón de yuca de las variedades Corpoica M Tai-8 y Corpoica Orense. *Dyna*(160), 121-130.
27. Shamekh, S., Myllarinen, O., Poutanen, K., & Forssell, P. (2002). Film formation properties of potato starch hydrolysates. *Starch*, 20-24.
28. Singh, N., & Cheryan, M. (1998). Properties and Composition of concentrates and syrup obtained by microfiltration of saccharified corn starch hydrolysate. *Journal of Cereal Science*, 27, 315-320.
29. Vidal, C., & Páez, G. (2011). Producción de jarabes edulcorantes por hidrólisis enzimática del almidón de ñame variedad Dioscorea rotundata. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia*, 5, 71-85.

ANEXOS

Anexo N° 01: Matriz de Consistencia

OBTENCIÓN DE MALTODEXTRINA MEDIANTE HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN A PARTIR DE ÑELÉN DE ARROZ (<i>ORYZA SATIVA L.</i>)						
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Métodos
Problema Principal	Objetivos Principales	Hipótesis Principal	Variable Dependiente		-	-
¿Cuáles serán los parámetros óptimos de la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz en la obtención de maltodextrina?	Determinar los parámetros óptimos de hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz, para obtener maltodextrina	Se obtendrá maltodextrina a partir de almidón de ñelén de arroz, utilizando parámetros óptimos de concentración de almidón, dosis de enzima y tiempo de reacción mediante la hidrólisis enzimática	Maltodextrina obtenida mediante hidrólisis enzimática del ñelén de arroz	Equivalente de Dextrosa de la Maltodextrina obtenida	Contenido de Azúcares reductores	Análisis Experimental
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variables Independientes		-	-
¿Cuál es la concentración óptima de sustrato durante la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz, para obtener maltodextrina?	Determinar la concentración óptima de sustrato, durante la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz, para obtener maltodextrina	Utilizando concentración óptima de almidón de ñelén de arroz, durante la hidrólisis enzimática, se obtendrá maltodextrina	Concentración almidón de ñelén de arroz	Porcentaje de almidón en la dilución	Porcentaje (%)	Análisis Experimental
¿Cuál es la concentración óptima de enzimas durante la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz, para obtener maltodextrina?	Determinar la concentración óptima de enzima, durante la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz, para obtener maltodextrina	Utilizando concentración óptima de enzima, durante la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz, se obtendrá maltodextrina	Concentración de enzimas	miligramos de enzima / gramo de almidón	mg/g	Análisis Experimental
¿Cuál es el tiempo óptimo de reacción durante la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz para obtener maltodextrina?	Determinar el tiempo óptimo de reacción, durante la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz, para obtener maltodextrina.	Determinando el tiempo óptimo de reacción, de la hidrólisis enzimática del almidón de ñelén de arroz, se obtendrá maltodextrina	Tiempo de reacción	número de minutos de reacción enzimática	minutos	Análisis Experimental

Anexo N° 02. Curva Patrón para la determinación del contenido de Azúcares Reductores



glucosa (g/L)	Absorvancia
2,004	0,164
3,334	0,278
5,001	0,421
6,668	0,560

**Anexo N° 03. Cálculo para la determinación de azúcares reductores
en una muestra**

Según la curva patrón se obtiene la siguiente ecuación matemática en función de la absorbancia:

$$Y = \left(\frac{0.0056}{0.085} \right) + \frac{X}{0.085}$$

Donde:

X = Absorbancia

Y = Azúcares reductores medido como glucosa en g/L.

PARA EL TRATAMIENTO 3:

Muestra: 5.22 gramos

Absorbancia: 0.440

Dilución: 10^{-5}

Reemplazando en la fórmula:

$$Y = \left(\frac{0.0056}{0.085} \right) + \frac{0.440}{0.085} = 5.2423 \text{ g/L}$$

Pero como fue diluido por 10^{-5} , entonces la concentración de azúcares reductores será:

$$A. R. = 5.2423 * 5 = 26.21 \text{ g/L}$$

**Anexo N° 04. Conversión de contenido de azúcares reductores a
contenido de Dextrosa Equivalente**

T	Concentración Almidón (%)	Concentración enzima (mg/g)	Tiempo de reacción enzima (min)	Peso de la muestra seca (g)	Contenido azúcares reductores (g/l)	Concentración maltodextrina (DE)
1	26.1	0.4	40.00	5.22	21.13	8,1
2	26.1	0.4	70.00	5.22	22.56	8,6
3	26.1	0.8	40.00	5.22	26.21	10,0
4	26.1	0.8	70.00	5.22	30.52	11,7
5	43.9	0.4	40.00	8.78	32.98	7,5
6	43.9	0.4	70.00	8.78	46.78	10,7
7	43.9	0.8	40.00	8.78	48.11	11,0
8	43.9	0.8	70.00	8.78	49.63	11,3
9	20.0	0.6	55.00	4.00	15.26	7,6
10	50.0	0.6	55.00	10.00	61.84	12,4
11	35.0	0.2	55.00	7.00	16.78	4,8
12	35.0	1.0	55.00	7.00	42.50	12,1
13	35.0	0.6	30.00	7.00	18.28	5,2
14	35.0	0.6	80.00	7.00	42.35	12,1
15	35.0	0.6	55.00	7.00	39.45	11,3
16	35.0	0.6	55.00	7.00	38.21	10,9

PARA EL TRATAMIENTO 3:

$$D.E. = \frac{A.R}{M} \times 100$$

$$26.1 \text{ g} \text{ -----} 100 \text{ mL}$$

$$X \text{ -----} 1000 \text{ mL (1 L)}$$

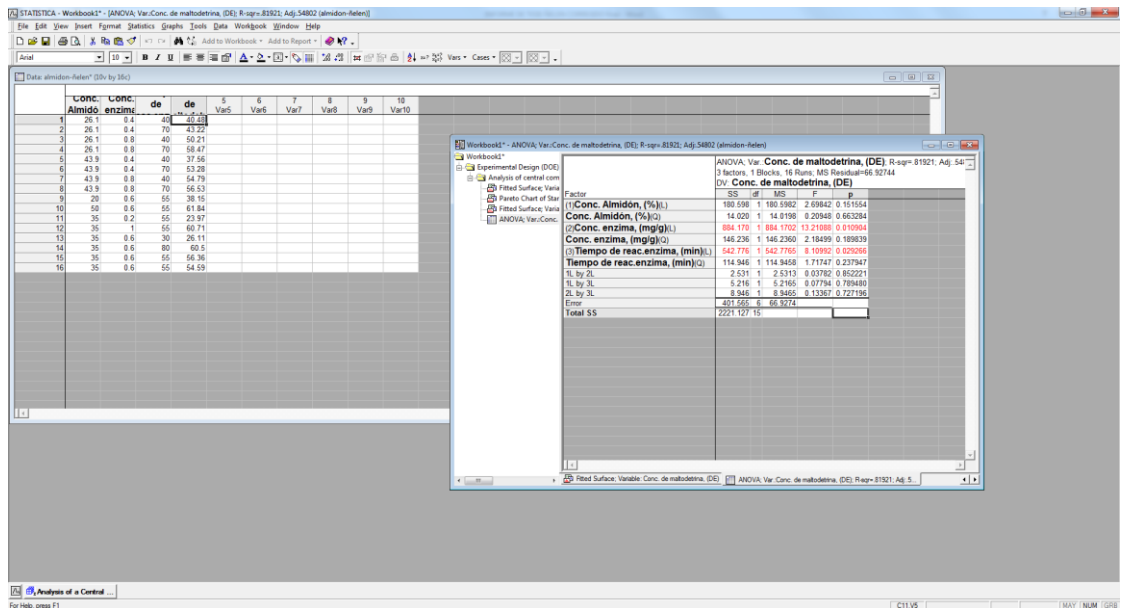
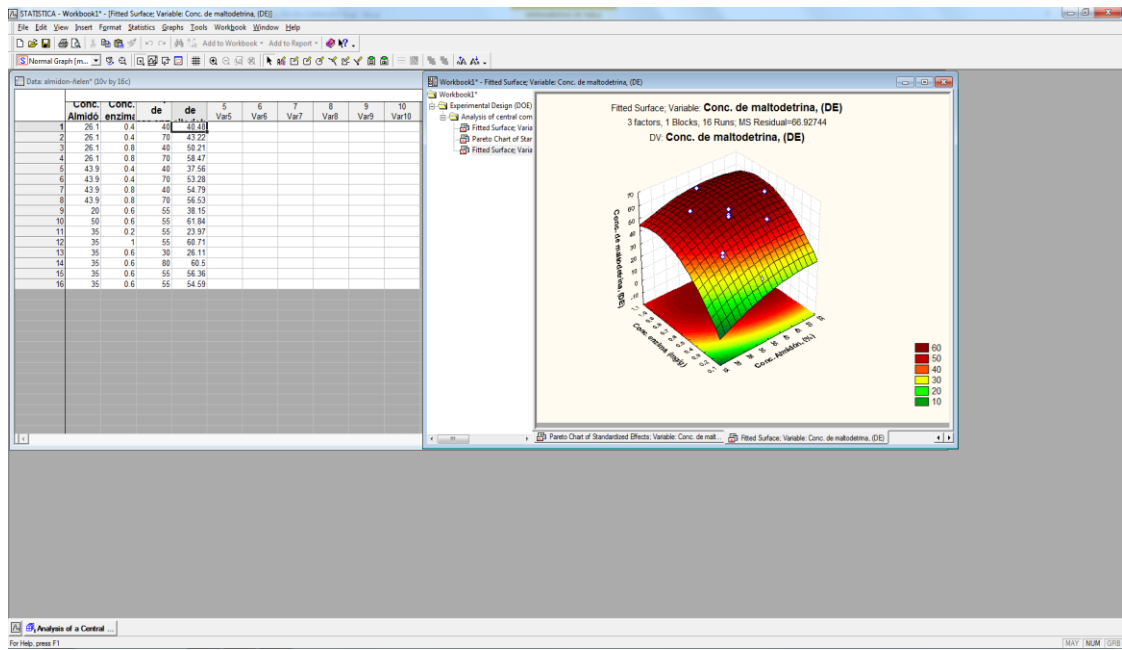
$$X = 261 \text{ g/L}$$

$$D.E. = \frac{26.21 \text{ g/L}}{26.1\%} \times 100$$


$$D.E. = \frac{26.21 \text{ g/L}}{261 \text{ g/L}} \times 100$$

$$DE = 10$$

Anexo N° 05. Imágenes del procesamiento de datos con el software estadística 12



Anexo N° 06: Ficha Técnica de la Enzima

	Código: FD01 – PF12	Pág. 1 de 1
	Versión: 003	Vigencia: Julio 18
Hoja Técnica	POLIZYME AA 100	

Enzima Alfa Amilasa Fungal para Tratamiento de Harina de Trigo

Descripción: POLIZYME AA 100 es una enzima a base de alfa amilasa de origen fungal (*aspergillus oryzae*), estandarizado a una actividad definida de 100,000 SKB, formulado para tratamiento de harina de trigo en molinos y preparación de mejoradores para productos horneados.

Propiedades: POLIZYME AA 100, utiliza vehículos a base de sílice en cantidades definidas brindando fluidez ideal para dosificación en línea en el molino. POLIZYME AA 100 utilizado en la dosis recomendada brinda características tales como:

- Corrección de la actividad amilásica del trigo en caso ocurra índices de caída elevados.
- Hidroliza los enlaces del almidón presente en la harina asegurando producción de dextrina y maltosa, produciendo una miga de buena estructura y uniforme, así como favoreciendo el color dorado del pan durante la cocción.
- Brinda un mejor volumen y uniformidad a los productos horneados.

Especificación:

Humedad	:	8.0% max
Color	:	Polvo blanco cremoso de buena fluidez.
Actividad Enzimática	:	100,000 SKB min.
Rango Efectivo de pH	:	5.0 a 6.0
Temperatura efectiva	:	46 °C a 52 °C

Dosis de Uso: 2.0 – 10.0 ppm (0.10 g a 0.50 g / 50 kg de harina)

Presentación: Cajas de cartón con envase interno de polipropileno, capacidad de 25 kg.

Procedencia: Francia.


Almacenaje: Almacenar en un lugar fresco y seco, a temperatura ambiente protegido de la luz solar y de productos con olores fuertes.

Vida Útil: Bajo las condiciones anteriormente mencionadas, el producto tiene una vida útil de 1 año como mínimo.

La información de esta Ficha técnica es correcta a nuestro conocimiento y se proporciona con buenas intenciones, pero no constituye una garantía o compromiso de responsabilidad.

POLIFOOD PERU S.A.C. Calle 2 Mz "G" Lt "44", Urb. La Alameda de Ríñis – Lima 13
Tel. (511) 738-6889 - ventas@polifood.com.pe

Anexo N° 07: Certificado de Calidad de la Enzima

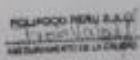
	Código: BPM-F-CC-14	Pág. 1 de 1
	Versión: 002	Vigencia: Noviembre 17

CERTIFICADO DE CALIDAD

Fecha: 25/01/2018
 Producto: POLIZYME AA 100
 Lote: 147044203PZAA
 F. Producción: 2017.02.21
 F. Vencimiento: 2019.02.20

ANÁLISIS	ESPECIFICACIONES	RESULTADOS
Apariencia	Polvo fino beige	Conforme
Humedad (%)	≤ 8	5.2
Actividad Enzimática (SKB/g)	Min 100000	99000
Aerobios Mesófilos (ufc/g)	≤ 5000	250
Coliformes (NMP/g)	≤ 30	Conforme
E. coli	Negativo en 25g	Conforme
Salmonella	Negativo en 25g	Conforme
Piomo (Pb) (mg/kg)	< 5	<0.034

ALMACENAJE	Almacenar en un lugar fresco y seco, a temperatura ambiente protegido de la luz solar.
------------	--


 Aseguramiento de Calidad

Elaborado por: Aseguramiento Calidad Fecha: 10 Octubre 2016	Revisado por: Comité de Inocuidad Fecha: 28 Octubre 2016	Aprobado por: Presidente Comité de Inocuidad Fecha: 01 Noviembre 2016
---	--	---

Se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin Autorización de Gerencia General

Anexo N° 08: Ficha Técnica de una Maltodextrina Comercial

FICHA TÉCNICA

MALTODEXTRINA

DESCRIPCIÓN GENERAL

La Maltodextrina, es un polvo de carbohidratos blanco, blando, de baja dulzura, tiene alta solubilidad y dispersabilidad obtenido del maíz, a pesar de sus bajas características higroscópicas es un extensor y aportador de sólidos ideal.

Análisis Químico

DE (Dextrosa) : 9.0 – 12.0
Humedad : 6.00 % Max
Minerales : 0.6 %
Ph : 4.0 – 6.0
Solubilidad : >98
Arsénico (As) : <0.5

Análisis Microbiológico

Coliformes : < 30 ufc/g
Bacilos : < 3000
Salmonella : Ausencia
Hongos y levaduras : 50 ufc/g

Composición Típica de los Carbohidratos

Monosacáridos : 0.8%
Disacárido : 2.9%
Trisacáridos : 4.4 %
Tetra sacáridos : 3.8 %
Pentasacáridos y superiores : 88.1%

Aplicaciones

Se utiliza en la industria como humectante y espesante, para estabilizar alimentos con muchas grasas, para dispersar ingredientes secos, para favorecer el secado por aspersión de sabores, jugos de frutas u otros productos difíciles de secar, y como fuente de carbohidratos en bebidas energéticas, proporciona tantas calorías como el azúcar.

Packing

Bolsa interna de polietileno laminado de 100 micras completamente sellado y bolsa de papel kraft multilaminada con barrera antihumedad. Peso neto de 25 kg de producto.

Almacenaje y Manipuleo

Almacenar en un ambiente seco y fresco a temperaturas menores a los 25°C y a una humedad relativa menor al 60%. Abierta la bolsa debe tenerse cuidado de sellar el empaque de polietileno para prevenir la captación de humedad. El tiempo de vida útil es mínimo de 12 meses.



Call Center: (51-1)2611548
Teléfonos: (51-1)3710841 / (51-1) 3710104 / (51-1)3581870
Fax : (51-1)3710335
E-mail: ventas@eurofarma.com.pe ; ventas.institucional@eurofarma.com.pe; ventas.industrial@eurofarma.com.pe
Web: www.eurofarma.com.pe

EuroFarma "EuroFarma" S.A. E

Anexo N° 09: Maltodextrina reconocida como sustancia GRAS por FDA

New Search Help | More About 21CFR

[Code of Federal Regulations]
[Title 21, Volume 3]
[Revised as of April 1, 2017]
[CITE: 21CFR184.1444]

TITLE 21--FOOD AND DRUGS
CHAPTER I--FOOD AND DRUG ADMINISTRATION
DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES
SUBCHAPTER B--FOOD FOR HUMAN CONSUMPTION (CONTINUED)

PART 184 -- DIRECT FOOD SUBSTANCES AFFIRMED AS GENERALLY RECOGNIZED AS SAFE
Subpart B--Listing of Specific Substances Affirmed as GRAS

Sec. 184.1444 Maltodextrin.

(a) Maltodextrin ((CGH1005)n, CAS Reg. No. 9050-36-6) is a nonsweet nutritive saccharide polymer that consists of D-glucose units linked primarily by [alpha]-1-4 bonds and that has a dextrose equivalent (D.E.) of less than 20. It is prepared as a white powder or concentrated solution by partial hydrolysis of corn starch, potato starch, or rice starch with safe and suitable acids and enzymes.

(b) (1) Maltodextrin derived from corn starch must be of a purity suitable for its intended use.

(2) Maltodextrin derived from potato starch meets the specifications of the Food Chemicals Codex, 3d ed., 3d supp. (1992), p. 125, which are incorporated by reference in accordance with 5 U.S.C. 552(a) and 1 CFR part 51. Copies are available from the National Academy Press, 2101 Constitution Ave., NW., Washington, DC 20418, or at the Division of Petition Control (HFS-217), Center for Food Safety and Applied Nutrition, Food and Drug Administration, 5001 Campus Dr., College Park, MD 20740, or may be examined at the National Archives and Records Administration (NARA). For information on the availability of this material at NARA, call 202-741-6030, or go to:
http://www.archives.gov/federal_register/code_of_federal_regulations/ibr_locations.html.

(3) Maltodextrin derived from rice starch meets the specifications of the Food Chemicals Codex, 4th ed. (1996), pp. 239 and 240, which is incorporated by reference in accordance with 5 U.S.C. 552(a) and 1 CFR part 51. Copies are available from the National Academy Press, 2101 Constitution Ave. NW., Washington, DC 20418, or may be examined at the Food and Drug Administration's Main Library, 10903 New Hampshire Ave., Bldg. 2, Third Floor, Silver Spring, MD 20993, 301-796-2039, or at the National Archives and Records Administration (NARA). For information on the availability of this material at NARA, call 202-741-6030, or go to:
http://www.archives.gov/federal_register/code_of_federal_regulations/ibr_locations.html.

(c) In accordance with 184.1(b) (1), the ingredient is used in food with no limitation other than current good manufacturing practice.

(d) Prior sanctions for this ingredient different from the uses established in this section do not exist or have been waived.

[48 FR 51911, Nov. 15, 1983, as amended at 60 FR 48893, Sept. 21, 1995; 63 FR 14611, Mar. 26, 1998; 81 FR 5596, Feb. 3, 2016]