



INFORME FINAL DE INVESTIGACION

**Aplicación de una enzima alfa Amilasa fungal a la
harina integral de Arracacha (*Arracacia
xanthorrhiza*) para la elaboración de una bebida
natural energética y vitamínica**

RESPONSABLE

Blga. Ms.C. ALICIA CECILIA DECHECO EGÚSQUIZA

LIMA - PERÚ

2015

Agradecimientos

A la Universidad LeCordon Bleu, por el apoyo y respaldo brindado durante la realización del presente trabajo de investigación.

A la Universidad Nacional del Callao por brindarme la oportunidad de desarrollar determinaciones a nivel de laboratorio.

Al Lic. Stalein Tamara Tamariz, por el apoyo brindado en los análisis estadísticos de la presente investigación

A la memoria de mis queridos padres, “mis angelitos”, Emilia Josefina y Luis Cesar Augusto a quienes recuerdo con mucho cariño y admiración

A mi hijo Álvaro el gran apoyo de mi vida; quien me impulsa a ser mejor persona cada día

INDICE

	Pág.
RESUMEN	04
ABSTRACT	05
1. INTRODUCCION	06
- Problema	06
- Objetivos	07
- Justificación de la investigación	08
2. MARCO TEORICO	11
3. MATERIALES Y METODOS	39
4. RESULTADOS	66
5. DISCUSION	71
6. CONCLUSIONES	84
7. RECOMENDACIONES	86
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	88

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue realizado utilizando almidón yuca *Manihotesculenta*. En ensayos a escala laboratorio se evaluó la hidrólisis del almidón de yuca al 30% p/v por el método de hidrólisis ácida y enzimática.

Las variables independientes a controlar durante el presente estudio fueron para la hidrólisis ácida la concentración del ácido clorhídrico y para la hidrólisis enzimática la temperatura de licuefacción de la amilasa al 1%. Para ambos tipos de hidrólisis (ácida y enzimática) la concentración de almidón fue de 30% p/v y el tiempo de licuefacción fue de 8 horas. Las variables dependientes fueron porcentaje de azúcares reductores y porcentaje de Dextrosa Equivalente (D.E.) y cristalinidad. También se evaluaron los grados brix y el porcentaje de rendimiento de los jarabes.

El proceso de hidrólisis ácida del almidón de yuca al 30% se evaluó haciendo un estudio del efecto de la concentración del ácido clorhídrico de 1%, 3% y 5% sobre el rendimiento del proceso de elaboración del jarabe de glucosa. La hidrólisis enzimática del almidón se llevó a cabo empleando α amilasa fúngica al 1%, se preparó una concentración de almidón al 30% p/v.

Los productos fueron evaluados midiendo el grado de hidrólisis, expresado como porcentaje de azúcares reductores, porcentaje de Dextrosa Equivalente (D.E.), grados brix, porcentaje de rendimiento de jarabes y cristalinidad.

Los parámetros más consistentes fueron el porcentaje de azúcares reductores, y porcentaje de Dextrosa Equivalente (D.E.), donde se demostró que existe diferencia significativa entre el porcentaje de azúcares reductores y porcentaje de equivalente de dextrosa (ED) medida para distintas temperaturas de licuefacción del almidón por la enzima α amilasa al 1%, siendo la temperatura de mayor actividad para la hidrólisis enzimática la de 70°C.

Asimismo existió diferencia significativa entre el porcentaje de azúcares reductores y porcentaje de equivalente de dextrosa (ED) medida para distintas concentraciones de ácido clorhídrico para la licuefacción del almidón de yuca al 30% (p/v), siendo la concentración de HCl al 5% la que tuvo mayores rendimientos de estos parámetros para la hidrólisis ácida. Al comparar ambos tipos de hidrólisis se encontró que existe diferencia significativa entre el porcentaje de azúcares reductores y porcentaje de equivalente de dextrosa (ED) medida para la hidrólisis ácida y enzimática del almidón de yuca, siendo la hidrólisis enzimática la que tuvo mejores resultados. En la hidrólisis enzimática se obtuvo un producto de mayor valor agregado, se definieron las condiciones de operación y las etapas del proceso que deberían ser adaptadas para la producción de jarabe de glucosa a partir de almidón de yuca.

ABSTRACT

This research was conducted using starch cassava *Manihotesculenta*. In lab-scale tests of the cassava starch hydrolysis was assessed at 30% w/v by the method of acid and enzymatic hydrolysis.

The independent control variables for this study were to acid hydrolysis concentration of Hydrochloric acid and enzymatic hydrolysis for the dropping of 1% Amylase. For both types of hydrolysis (acid and enzymatic) starch concentration was 30% w/v liquefaction time was 8 hours. The dependent variables were percentage of reducing sugars and percentage of dextrose equivalent (DE) and crystallinity. The brix degrees and the percent yield of the syrups were also assessed.

The process of acid hydrolysis of cassava starch 30% was evaluated by a study of the effect of the concentration of hydrochloric acid of 1%, 3% and 5% on the performance of the manufacturing process of glucose syrup. The enzymatic hydrolysis of starch was carried out using fungal amylase α 1%, a starch concentration of 30% w / v prepared.

The products were evaluated by measuring the degree of hydrolysis, expressed as a percentage of reducing sugars, percentage of Dextrose Equivalent (DE), brix, syrups percent yield and crystallinity.

The most consistent parameters were the percentage of reducing sugars, and percentage of dextrose equivalent (DE), which showed that there is significant difference between the percentage of reducing sugars and percentage of dextrose equivalent (DE) measured for different temperatures of starch liquefaction α -amylase enzyme by 1%, the temperature being higher activity for the enzymatic hydrolysis of 70 ° C.

Also there was a significant difference between the percentage of reducing sugars and percentage of dextrose equivalent (DE) measured for different concentrations of hydrochloric acid to starch liquefaction Yucca 30% (w / v), the concentration of 5% HCl which had higher yields of these parameters for the acid hydrolysis. Comparing the two types of hydrolysis was found that a significant difference exists between the percentage of reducing sugars and percentage of dextrose equivalent (DE) as to acidic and enzymatic hydrolysis of cassava starch, the enzymatic hydrolysis being that outperformed. In the enzymatic hydrolysis product of higher added value was obtained, operating conditions and process steps should be adapted for the production of glucose syrup from cassava starch were defined.

1. INTRODUCCION

1.1. PROBLEMA

La arracacha que es conocida por haber sido cultivada tanto como muchos otros cultivos de raíces y tubérculos andinos, se restringe a zonas de montañas de los Andes del norte y se extiende hasta Bolivia y norte de Chile. Pero se la encuentra mayormente bajo cultivo desde Venezuela hasta Bolivia, aunque algunos cultivos también se dan en Costa Rica, Puerto Rico y Brasil. En Sud América se estima que actualmente este cultivo es un alimento para 80 a 100 millones de personas, debido a que tiene sabor único y sus propiedades en almidón son altamente apreciados y se la considera un valioso alimento.

En Perú se cultiva en casi todo el país entre 1200 a 3300 msnm, donde exista humedad. Los dos centros de mayor diversidad se encuentran en la sierra norte (Cajamarca) y en la sur oriental (Cuzco). Existen 81 ha de arracacha, 985 tn de producción anual. Se puede cosechar durante todo el año, procesar y vender el producto durante todo el año. Existe gran diversidad, se cultivan más de 20 variedades de arracacha. Se cultiva en el norte de Cajamarca, en la Yunga y en algunos valles de Quechua baja, (hasta 2800 msnm). (Salas Domínguez S. 2001).

Las raíces de la arracacha constituyen uno de los alimentos nativos más agradables y alimenticios, destacando su almidón, el cual se caracteriza por tener diminutos gránulos, empleados generalmente como un alimento altamente digerible para niños y ancianos. (Salaverry Oswaldo, 2012).

El actual aprovechamiento industrial de la arracacha en el Brasil (alimentos para bebés, sopas instantáneas), en el Perú (rallado), y la concepción de un modelo agroindustrial rural en Cajamarca (Perú), entre otros; confirma la necesidad de comprobar usos alternativos de esta raíz.

En el Perú debido a la falta de conocimiento del tema y cultura del país, se realiza únicamente una explotación del tubérculo para consumo directo y como rayado de arracacha, por ende no existe una comercialización nacional importante de bebidas refrescantes de arracacha. Por ello es importante identificar usos alternos de la misma, y de esta manera prolongar su vida útil, evitando pérdidas económicas debido a la falta de conocimiento por parte de los cultivadores de los procesos de transformación y conservación de la arracacha, promoviendo el aprovechamiento de los componentes presentes en esta raíz. Por lo tanto, la arracacha, como producto principal, y materia prima para la elaboración de productos es una oportunidad comercial e innovadora que permite desarrollar nuevas oportunidades de empleo.

Es necesario realizar una investigación más profunda respecto a esta raíz y sus derivados, con el objeto de aumentar y mejorar la oferta con la que se cuenta actualmente, proporcionando después, tanto a nivel nacional como internacional, los beneficios y bondades de la arracacha peruana.

Las enzimas en el campo de los alimentos se usan cada vez más, por su potencial variado y por su diversificación, el impacto que sobre los aspectos económicos y tecnológicos que ha tenido la aplicación de enzimas ha sido cada vez más notorio, por esto se hace precisa la aplicación de la enzima comercial α -amilasa fúngica, que hidroliza los enlaces 1,4-alfa-glucosídicos de la amilosa y amilopectina al azar, lo que resulta en una rápida reducción de la viscosidad y del almidón gelatinizado.

Para diversificar el uso de la harina de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), se evaluará su potencialidad en la elaboración de una bebida con propiedades nutricionales a base de harina integral de arracacha hidrolizada enzimáticamente y buscará el aprovechamiento de materias primas que no juegan un papel relevante en la industria de alimentos, la disminución de pérdidas y control de variables durante el proceso, el control de calidad de productos finales, la estandarización del proceso y la incorporación de la biotecnología como alternativa de mejoramiento de procesos de producción de alimentos novedosos que pueden ser consumidos a cualquier hora del día por niños, adultos y ancianos y darle valor agregado a productos o subproductos a partir de la harina de arracacha, lo que permitiría incrementar el nivel comercial de este tubérculo en nuestro país.

1.2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Determinar el efecto de la aplicación de una enzima α -amilasa fúngica estándar a la harina de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) para la elaboración de una bebida natural energética y vitamínica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las condiciones óptimas de hidrólisis de la harina de arracacha, con la aplicación de una enzima α -amilasa fúngica estándar en diferentes tiempos de hidrólisis y concentraciones de enzima.
- Formular y elaborar una bebida energética y vitamínica a base de harina de arracacha hidrolizada enzimáticamente.

1.3. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

El Perú es un país mega diverso, cada región posee ciertas características que contribuyen a la agricultura y gracias a los diversos climas se pueden cultivar diferentes tipos de alimentos, los cuales contribuyen con la nutrición y economía del país.

La arracacha, raíz de importancia regional; cultivada en nuestro país, es uno de estos alimentos ya que contiene muchas propiedades nutritivas que el organismo utiliza de un modo completo, destacando entre ellas los carbohidratos en relación a los demás nutrientes (almidón, azúcares totales) y considerables niveles de minerales como: calcio, fósforo, hierro, vitamina A y niacina (Barrera, C. Tapia & A. Monteros, 2004). Aunque la arracacha es más conocida por sus raíces, ninguna parte de esta planta queda sin aprovecharse. Los tallos y las hojas se usan como alimento para animales, los cuales poseen un alto contenido de oxidantes, también se usan en muchas aplicaciones medicinales tradicionales. (Baldeon C. y De la Cruz T. 2008).

La arracacha es una raíz poco conocida científicamente, pero reconocida en la mayoría de los países latinoamericanos y de las regiones andinas por representar un alimento tradicional, consumido hervido en agua con otros tubérculos y hortalizas. (Noguera y Pacheco, 2000).

Sin embargo, caída en el olvido por su poca difusión; no es muy consumida por la población debido a diversos factores. Los investigadores no le prestan la debida atención y tampoco lo hay por parte de las diferentes universidades en el país. (Blas R. 2009).

La arracacha contribuiría a la nutrición de los pobladores de nuestro país y además a la economía, ya que así como otros productos, ésta puede ser presentada como una planta con potenciales de producción para el consumo nacional e internacional debido a sus altos valores nutritivos y además la promoción del cultivo y la generación de un mayor valor agregado que quede en manos de los propios productores, contribuirá a aliviar la pobreza y generar procesos de desarrollo local en beneficios de muchas familias andinas.

El valor nutricional de la raíz, esta dado por su aporte de vitaminas del complejo B, algunos minerales (calcio, potasio, fósforo, hierro), calorías y por la alta fuente de carbohidratos, que constituye un suministro importante a la dieta de las poblaciones rurales, donde el acceso a la carne y la leche son limitadas. (Adetan *et al.*, 2003; Benalcázar Ruiz, B., 2006.).

El sabor agradable y la fácil digestibilidad de la arracacha son reconocidos universalmente, además debido al complejo de almidones, aceites, sales minerales, se le considera una buena fuente de minerales y vitaminas. (Palacios R., Morales M. y Arias G., 2011).

La harina y almidón de esta raíz presentan propiedades funcionales y reológicas que permite diseñar una variedad de productos atractivos al consumidor como por ejemplo, las mezclas en polvo para preparar sopas instantáneas, que además de contribuir en menor tiempo a satisfacer

el hambre, proveen los requerimientos mínimos para disminuir los problemas de la nutrición a corto plazo. (Noguera y Pacheco, 2000).

Debido a la alta perecibilidad que presentan las raíces de arracacha, es de importancia fundamental el aprovechamiento de la arracacha como harina, la cual contribuiría con la generación de nuevos puestos de trabajo así como también se ayudaría a reducir las importaciones de productos, contribuyendo así a la mejora de la economía del país y a crear una identidad nacional en la población peruana, de consumir productos nacionales de alto nivel nutritivo.

Por otro lado, el incremento del uso y procesamiento industrial de la arracacha en el Brasil (actualmente existen alimentos para bebés y sopas instantáneas); contrasta con el declinamiento de la arracacha en nuestro país, donde sólo se consume fresca o mediante algún tipo de procesamiento artesanal.

A nivel industrial, el delicado sabor de la arracacha y la inexistencia de factores antinutricionales potencializan el desarrollo de una gran gama de productos (León-Marroú, M. *et. al.* 2011). Por ello, es imperante las investigaciones futuras que posibiliten su desarrollo como un alimento alternativo con amplias y prometedoras perspectivas.

Por lo tanto, para la realización de este trabajo de investigación se evaluará la capacidad de hidrólisis de una enzima α -amilasa fungal estandar aplicándola a una mezcla harina de arracacha-agua, se realizará una comparación de la acción de la enzima durante 3 diferentes tiempos distantes uno del otro para verificar las diferencias (20, 40 y 60 minutos) y además se utilizarán tres concentraciones de enzima amilasa (1, 2 y 3% p/v). Por medio del mejor resultado de viscosidad y equivalente de dextrosa se establecerá la muestra para efectuar la elaboración de la bebida natural energética y vitamínica a partir de harina de arracacha.

Este trabajo de investigación será un aporte de beneficio para consulta, de profesores, profesionales, alumnos y empresarios afines al quehacer alimentario, y en consecuencia participar fortaleciendo a la institución.

La presente investigación es viable en cuanto a recursos humanos, materiales y tiempo y permitirá obtener una bebida a base de harina de arracacha hidrolizada con una enzima α -amilasa fungal estándar y analizar su calidad permitiendo dar un valor agregado a la Producción Nacional.

En cuanto a la delimitación del proyecto, las etapas experimentales de hidrólisis enzimática del almidón de la harina de arracacha, la preparación de la bebida pasteurizada y el estudio de la

calidad del producto final se realizaran en las instalaciones de los laboratorios de la Universidad Le Cordon Bleu y de la Universidad Nacional del Callao.

2. MARCO TEORICO

2.1. Arracacha

El cultivo de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) hace parte de la cultura de los pueblos de la región andina. Este cultivo se ha utilizado durante siglos por los indígenas de Sudamérica y se ha transmitido de generación en generación, hasta el día de hoy en que los campesinos y agricultores la siguen sembrando para comercializarla en el mercado nacional. (Marín I. *et al.* 2011). La arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) pertenece a la familia de las Umbelíferas, es cultivada en América del Sur, ofrece tres variedades: blanca, amarilla y morada. Esta última contiene el mayor porcentaje de almidón (72% en base seca). El contenido de amilosa y amilopectina del almidón depende de la variedad de arracacha. (Soto, 2004).

En Perú la principal zona productora de arracacha se encuentra en el distrito de Sócuta, departamento de Cajamarca, estimándose un área cultivada de 2.000 a 3.000 hectáreas (Seminario, 1999). En nuestro país, la producción de arracacha ha mostrado un incremento de 9 762 toneladas en 1999 a 16 617 toneladas en 2002, destacando el Departamento de Cajamarca como el mayor productor (Ministerio de Agricultura, 2003).

Cuadro N° . Producción agropecuaria, según principales productos arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), 2007-2013 (TM)

PRODUCTO	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ARRACACHA	15 923	18 733	18 626	18 671	22 870	22 083	23 744

Fuente: Ministerio de Agricultura y Riego – Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos, 2014.

2.1.1. Nominaciones de la Arracacha.

Del quechua racacha f. Hierba perenne, originaria de América, que crece en tierras frías y cuya raíz tuberosa, gruesa y de color amarillo, se come cocida.

Los nombres vulgares que reciben tanto el fruto como la planta varían según el lugar y el idioma, entre los principales nombres que se ha podido recoger se encuentran los siguientes:

Denominaciones:

IDIOMAS	NOMBRE COMUN
Quechua	Huisampilla, lagachu, laqachu, oqque, r'acacha, racacham, rakkacha, r'aqacha, ricacaha.
Aymara	Lacache, lacachu, lakachu, lecachu, lekachu, r'acacha.
Español	Apio, apio arecate, apio criollo, apio tuberoso, arracacha, arracacia, arrecate, birraca, rábano, racacha, rajacha, ricacha, sacaracacha, sanahoria blanca, saracacha, sonarca, virraca, varracas, zanahoria, zanahoria blanca, zanahoria del país, zanaoria.
Portugués	Aipinbranco, aracacha, batata aipo de Perú, batata arracacha, batata cenoura, batata fiúso, batata galinha, batata jujuba, batata salsa, batata suíca, batata tupinambá, barão, baroa, carotole, cenoura amárela, mandioquinha, mandioquinha salsa, pastinaca.
Alemán	Arrakatscha.
Ingles	Arracacha, peruviancarrot, peruvianparsnip, racacha, White carrot.
Francés	lArracacha, panéme, pomme de terre céleri
Otros	Afió (procedente de un lenguaje africano en cuba), aricachi (Ayomán en Venezuela). Arocueche (Muzo en colombia), yengó (Kamsá en Colombia).

Clasificación Botánica de la Arracacha.

Es una planta andina, de la familia Apiaceae, cultivada originalmente a lo largo de 7250 Km. de la cordillera, desde Venezuela hasta el norte de Chile y noroeste de Argentina. Se puede cultivar desde 200 m a 3600 msnm, pero se desarrolla mejor entre 1800 a 2500 msnm. Se cultiva principalmente por su raíz reservante (RR) que es de sabor agradable y de fácil digestibilidad, ya que posee almidón muy fino, con alto contenido de calcio y vitamina A. También se puede usar el follaje y las cepas para alimentación humana, estos frecuentemente son usados para la alimentación de animales.

Taxonomía de la Arracacha

La clasificación botánica de la planta sería la siguiente:

Reino	Plantae
División:	Angiospermas
Clase:	Dicotyledoneae
Orden:	Umbelliflorae
Familia:	Umbelliferae (Apiaceae)
Subfamilia:	Apioidae
Tribu:	Smirnieae
Género:	Arracacia
Especie:	<i>Xanthorrhiza</i> (variedad amarilla) amarilla)
Nombre Botánico:	<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft

NOMBRES COMUNES : Arracacha, Zanahoria blanca, Apio blanco, etc.

Figura N° 1. Cultivo de arracacha (Izquierda) y sus raíces (Derecha)



Fuente: Rodríguez Borray G., *et.al.* 2003.

3.4. COMPOSICIÓN Y VALOR NUTRITIVO.

Las raíces de la arracacha constituyen uno de los alimentos nativos más agradables y alimenticios, destacando su almidón, el cual se caracteriza por tener diminutos gránulos, empleados generalmente como un alimento altamente digerible para niños y ancianos.

El actual aprovechamiento industrial de la arracacha en el Brasil (alimentos para bebés, sopas instantáneas), en el Perú (rallado), y la concepción de un modelo agroindustrial rural en Cajamarca (Perú), entre otros; confirma la necesidad de comprobar usos alternativos de esta raíz. Al realizar estudios científicos de carácter nutricional, fisicoquímico y de capacidad antioxidante de la arracacha se lograron identificar usos alternos de la misma, y de esta manera prolongar su vida útil, evitando pérdidas económicas debido a la falta de conocimiento por parte de los cultivadores de los procesos de transformación y conservación de la arracacha, promoviendo el aprovechamiento de los componentes presentes en este tubérculo.

Un componente interesante lo constituyen los carbohidratos totales, conformados en su mayoría por los azúcares y almidones que el organismo utiliza de un modo completo, así como los fisiológicamente menos aprovechables, como las pentosanas, ácidos orgánicos, entre otros.

Las raíces tienen un contenido de almidón dentro de un rango de 10 a 25%. Los gránulos de almidón son bastante pequeños, similares desde muchos puntos de vista a los de yuca. La arracacha contiene 17,90% de almidón y 2,98% de azúcares reductores.

En contenido proteico destaca la forma hortícola Pasña, seguida de la variedad Q'uello con 1,57 y 1,49 % (base seca), respectivamente.

El alto contenido de minerales como el calcio (27 a 37 mg%), supera cuatro veces al de la papa (6 a 9 mg%); el contenido de fósforo (50mg%) supera al encontrado en oca (36mg%); y el contenido de hierro (139,5 ppm) supera al de la oca y al de la papa de 48,45 y 64 ppm respectivamente, así mismo es mayor que en otros grupos de alimentos como en los cereales (arroz: 11,7 ppm) y las leguminosas (frijol: 70ppm).

En el caso de la variedad Amarilla se presenta un alto contenido de carotenoides, como precursores de vitamina A, así como también hierro y fósforo, superando en algunos casos a los valores de yuca y papa. Las raíces con pulpa amarillo brillante son una fuente rica en *vitamina A*. Al respecto estudios realizados mostraron que el β -caroteno es el principal carotenoide presente en el clon comercial del Brasil. Se ha reportado un contenido de retinol equivalente a 45 μ g. En 100 de materia comestible y un contenido de 19 μ g. de retinol equivalente en arracacha amarilla. Las raíces presentan 1.03% de proteínas. La cepa o corona de las raíces presenta cerca del 9% de proteínas.

De acuerdo con la composición nutricional de las diferentes muestras de arracacha secadas a diferentes temperaturas se encontró que la muestra que mantuvo mejor composición nutricional fue la muestra secada a 50C°, ya que evidencia un mejor aporte calórico, químico proximal y de micronutrientes. Cuadro N° 3.4. y 3.5.

Cuadro N° 3.4. Composición químico-bromatológica de *Arracacia xanthorrhiza*

	Variedades					
	Amarilla		Blanca		Morada	
	Fresca	Seca	Fresca	Seca	Fresca	Seca
	g%					
Sólidos totales	28,66	100,00	26,37	100,00	26,14	100,00
Agua	71,34	0,00	73,63	0,00	73,86	0,00
Proteína total (*)	0,76	2,65	0,61	2,34	0,55	2,10
Extracto etéreo	0,28	0,98	0,24	0,91	0,24	0,92
Ceniza	0,67	2,34	0,74	2,81	0,59	2,26
Carbohidratos	26,95	86,90	24,78	86,67	24,76	86,91
Fibra cruda	0,95	3,31	0,89	3,38	0,85	3,25
Azúcares reductores totales	1,02	3,56	0,70	2,65	1,03	3,94
Almidón	21,51	75,05	20,20	76,60	19,81	75,78
pH	6,20	-	6,30	-	6,30	-
Vitamina C (**)	24,78	86,46	26,46	100,34	19,80	75,75
Valor calórico (***)	113,06	365,78	103,57	363,40	103,32	363,79

* Factor de proteína = 6,25 ** Valor expresado en mg% *** Valor expresado en kilocalorías

Fuente: (Rocío Palacios, Mariela Morales y Gladys C. Arias, 2011).

La Arracacha es particularmente rica en calcio, hierro y niacina superando el contenido de otros tubérculos y raíces como papa y yuca. Basta consumir diariamente entre 100 y 200 gramos de esta raíz para cubrir los valores recomendados de vitamina A y hierro. (Espín S., E. Villacrés, B. Brito, 2004; Ayala Guido, 2004). Asimismo, 150 gramos de arracacha cubren el 50 por ciento de los requerimientos diarios de vitamina B₃, calcio y fósforo de los niños pequeños. El contenido de almidones, grasa y sales minerales es pronunciado en la arracacha y explica su sabor agradable. El contenido de almidón varía entre 10 y 25%. Los granos son finos, parecidos a la yuca y es una buena fuente de minerales y vitaminas. (Amaya Robles J., J. Julca Hashimoto, 2006).

También destacan los altos contenidos de Ca, P y Fe de la arracacha, que permiten cubrir las necesidades para dietas balanceadas, mediante la ingestión de cantidades no muy grandes. (Palacios R., Morales M. y Arias G., 2011).

Cuadro N° 3.5. Minerales presentes en *Arracacia xanthorrhiza*.

	Variedades					
	Amarilla		Blanca		Morada	
	Fresca	Seca	Fresca	Seca	Fresca	Seca
	mg%					
Calcio	34,33	119,78	30,67	116,31	32,77	125,36
Hierro	11,96	41,73	9,52	36,10	7,91	30,26
Fósforo	57,56	200,84	56,9	215,78	46,00	175,98
Potasio	2,40	8,37	2,35	8,91	2,28	8,72
Magnesio	69,98	244,17	68,94	261,43	55,97	214,12
Zinc	5,98	20,87	5,20	19,72	5,07	19,40

Fuente: (Palacios R., Morales M. y Arias G., 2011).

Nutricionalmente, además destaca el almidón de la arracacha, más que por su contenido por la calidad del mismo. Esta planta debe ser considerada como un alimento esencialmente energético pues en su composición centesimal, se destacan los carbohidratos en relación a los demás nutrientes (almidón + azúcares totales) y considerables niveles de minerales como calcio, fósforo, fierro, además de constituir buena fuente de vitamina A y niacina. (Palacios R., Morales M. y Arias G., 2011).

Las cepas se utilizan para la alimentación de cerdos, gallinas y ganado vacuno. Se pueden cocinar y mezclar con otros productos sobrantes de la finca como plátano, yuca, etc., lo cual constituye un excelente preparado para engordar cerdos. Las cepas presentan una composición muy similar a los rizomas de arracacha, con bajos contenidos de proteína, pero con alto valor calórico.

García A. y E. Pacheco (2008), indican que las variedades de arracacha examinadas en la composición química, presentaron bajos contenidos de grasas ($0,64 \text{ g/ } 100 \text{ g}^{-1}$), proteínas ($3,82 \text{ g/}100\text{g}^{-1}$) y azúcares reductores ($3,69 \text{ g/}100 \text{ g}^{-1}$), pero una relación media en fibra ($6,79 \text{ g/}100 \text{ g}^{-1}$), alta en almidón ($79,39 \text{ g/}100 \text{ g}^{-1}$) y en minerales como el calcio ($210,25 \text{ mg/}100 \text{ g}^{-1}$) y el fósforo ($215,0 \text{ mg/}100 \text{ g}^{-1}$).

Las proteínas de arracacha (Cuadro N° 3.6), como todas aquellas de raíces y tubérculos, son incompletas porque presentan de modo general, deficiencia en la mayoría de sus aminoácidos esenciales.

Cuadro N° 3.6. Composición de aminoácidos esenciales de las proteínas de arracacha comparadas con las proteínas padrón de la FAO/OMS.

AMINOÁCIDOS	mg de aminoácidos/g de nitrógeno	
	Arracacha	Proteína padrón de la FAO/OMS
Isoleucina	83	250
Leucina	237	440
Lysina	203	340
Metionina + Lysina	179	220
Fenilalanina +	386	380
Tirosina	186	250
Treonina	144	60
Triptofano	191	310
Valina	33.2	100
Valor (E/T%)	22.6	36

Fuente: (Amaya Robles Julio E., José L. Julca Hashimoto, 2006).

De las vitaminas presentes en las raíces de arracacha, la más importante es la Niacina, cuyos valores varían de 1.0 a 4.5 mg en 100g de raíces frescas y la Vitamina A, que puede alcanzar niveles de hasta 6.800 U.I. (2.040 μ mg de carotenoides en 10 g.). Es una excelente fuente de calcio, fósforo y hierro. Cuadro N° 3.7.

Cuadro N° 3.7. Valores aproximados de las principales vitaminas presentes en arracacha

Vitaminas	100 gr. de material fresco
Vitamina A	1.759
Tiamina	0.08
Riboflavina	0.04
Niacina*	4.5
Piridoxina	0.03

Fuente: (Julio E. Amaya Robles, José L. Julca Hashimoto, 2006).

La arracacha se mantiene fresca en el refrigerador por 2 a 3 semanas y congelada hasta 6 meses. 100 gramos de arracacha proporcionan alrededor de 100 calorías (26 g de materia seca, 23 g de carbohidratos y menos de 1 g de proteína).

Harinas de Arracacha

La harina de arracacha por sus propiedades funcionales, composición fisicoquímica y grado de alta digestibilidad, puede ser utilizada en formulaciones de harinas compuestas o como ingrediente principal en la preparación de polvos de mezclas para sopas instantáneas e incluso representar un buen aditivo natural en la formulación de nuevos productos, constituyendo una alternativa no solo para diversificar su uso en la elaboración de distintos alimentos regionales, sino también por el aporte nutricional. (García A. *et. al.* 2007).

La harina de arracacha preserva las características nutricionales de las raíces y puede ser utilizada como sustituto de otras harinas para la elaboración de panes, pastas, espesantes, extensor de sopas, condimentos, papillas para bebés y dulces. También puede ser utilizada en reemplazo del sorgo para la alimentación animal, como fuente de energía y en la industria como saborizante o ingrediente de sopas instantáneas. (Chamorro Alba L., Zárate E., J. Tirado Lugo 2009).

Las harinas de arracacha poseen una estructura, color y aroma característicos que varían considerablemente según el tratamiento de secado realizado, además de poseer un comportamiento frente a la hidratación muy homogéneo, ya que uno de los componentes que más afecta este proceso es el almidón presente, el cual conserva cantidades similares en cada una de las harinas obtenidas y es el encargado de la mayor parte de características panificables de este tipo de harina. La harina con 12 o 13% de humedad puede conservarse durante tres meses o más hasta su venta o consumo. (Rodríguez Borray, *et. al.* 2003).

Cuadro N° 3.8. Composición química proximal de la harina de Arracacha.

Composición química (g/100 g)	Harina de arracacha
Humedad	9,64 ± 0,01
Ceniza	1,86 ± 0,01
Proteína	2,46 ± 0,01
Grasa	0,48 ± 0,02
Azúcares totales	6,22 ± 0,03
Azúcares reductores	3,48 ± 0,03
Almidón	74,47 ± 0,01
Almidón resistente	4,23 ± 0,01
Fibra dietaria	4,87 ± 0,01

(En 100 g. de producto comestible)

Fuente: (Tapia 1997).

Almidón de Arracacha

El contenido de almidones, grasa y sales minerales es pronunciado en la arracacha y explica su sabor agradable. El contenido de almidón varía entre 10 y 25%. Los granos son finos, parecidos a la yuca y es una buena fuente de minerales y vitaminas. García A. y E. Pacheco (2008), indican que las variedades de arracacha examinadas en la composición química, presentaron bajos contenidos de grasas ($0,64 \text{ g/ } 100 \text{ g}^{-1}$), proteínas ($3,82 \text{ g/}100\text{g}^{-1}$) y azúcares reductores ($3,69 \text{ g/}100 \text{ g}^{-1}$), pero una relación media en fibra ($6,79 \text{ g/}100 \text{ g}^{-1}$), alta en almidón ($79,39 \text{ g/}100 \text{ g}^{-1}$) y en minerales como el calcio ($210,25 \text{ mg/}100 \text{ g}^{-1}$) y el fósforo ($215,0 \text{ mg/}100 \text{ g}^{-1}$).

González y Pérez (2003), comentan que el almidón de arracacha tendría menor contenido de amilosa que otros almidones conocidos por lo que será de fácil digestión, lo que explica el uso tradicional de la arracacha para niños, enfermos, convalecientes y discapacitados. Consideran que la otra ventaja de la arracacha es su alto contenido de beta caroteno (pro vitamina A), y que su promedio es de 1760 IU, con una variación entre 255 a 6879 IU (razón máximo/mínimo = 27) esto indicaría que existe la posibilidad de seleccionar materiales genéticos con mayor contenido de este nutriente, las de pulpa amarilla tienen mayor contenido.

El almidón de arracacha presenta características excelentes de absorción de agua, debido al tamaño de sus granos, lo que igualmente sucede con los otros tipos de almidones a pesar de poseer un tamaño superior al de arracacha, es decir que los granos de almidón de arracacha tienden a hincharse a menores temperaturas, esta característica extiende la vida útil de anaquel del producto. En el caso de los panes el contenido de humedad es un factor importante ya que a niveles inferiores del 16 por ciento no se producirá un envejecimiento e igualmente el exceso de humedad impide asimismo el envejecimiento. (Rodríguez Borray, *et. al.* 2003).

Digeribles por el organismo, los gránulos de almidón, se encuentran en forma insoluble, son fuente principal de energía. El almidón forma geles (higroscópicos), que son estabilizadores, aglutinantes o espesantes, a altas temperaturas; permite la entrada de agua por rompimiento de la estructura, mejora la consistencia de diversos alimentos, es susceptible de reducción a jarabes y azúcares, tiene diferentes formas de cristalización, se hincha y gelatiniza a diferentes temperaturas, se degrada a α -glucosa que se absorbe y metaboliza, se retrograda, al formar geles puede liberar agua (sinéresis), la digestibilidad del almidón aumenta con la gelatinización, en presencia de ácidos disminuye la viscosidad de los geles, retarda la gelatinización con sustancias que compiten con el agua (azúcar), sufre retrogradación por amilopectina que es la causante del envejecimiento del pan, son agentes humectantes, insoluble en agua fría, como consecuencia de los enlaces de hidrógeno existentes entre las moléculas de amilosa y amilopectina, que impiden el acceso de las moléculas de agua, el sistema que inicialmente es turbio comienza a aclararse y su viscosidad aumenta paulatinamente gracias a que la acción rompe los puentes de hidrogeno permitiendo el acceso de agua al interior del gránulo, es decir los gránulos absorben agua. En exceso de agua (típicamente $>60\%$ en peso en base húmeda), el almidón experimenta una gelatinización a una temperatura en el intervalo $50\text{-}90^{\circ}\text{C}$

dependiendo del origen botánico, marcado por la pérdida del orden cristalino (detectado por la pérdida de birrefringencia), hinchamiento del gránulo y solubilización de la amilosa. Se forma un fluido que consta de gránulos porosos dominados por amilopectina y amilosa, que forma una pasta turbia viscoelástica o gel cuando se enfría. (Rodríguez, D., *et. al.*, 2005)

Una de las características importantes de la arracacha son las propiedades funcionales de su almidón, las cuales le brindan la posibilidad de utilizarse en la elaboración de productos industriales. En este sentido, el almidón de arracacha presenta un gránulo ovalado, de tamaño relativamente pequeño, con diámetros que varían entre 5 y 35 micras, lo cual le confiere la propiedad de ser fácilmente digestible. La temperatura media a la cual el almidón de arracacha forma gel es cercana a los 60°C, siendo más baja que la que presentan los almidones de cereales; esta característica permite que el almidón de arracacha requiera menor energía para su cocción. (Dufour y Hurtado, 1997).

De otro lado, el almidón de arracacha es más resistente a la congelación que los almidones de cereales y que los almidones modificados, lo cual lo hace viable para utilizarlo en la elaboración de alimentos que requieren congelarse o refrigerarse para su conservación, como es el caso de preparaciones de cárnicos, lácteos y helados, entre otros. El almidón de arracacha no presenta sinéresis (producción de fases acuosas) en medios ácidos y es resistente a un pH de 2,4 por 4 semanas a 4°C, lo cual le permite utilizarse como ingrediente natural en la elaboración de alimentos como encurtidos y otros que requieran condiciones ácidas. (Chamorro Alba L., Zárate E., J. Tirado Lugo 2009).

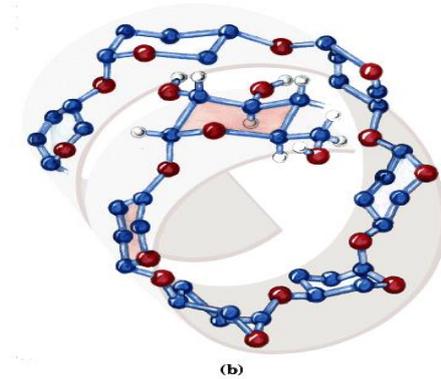
2.2. Características estructurales del Almidón

El almidón es un polisacárido natural altamente polimérico, compuesto de unidades de glucopiranosas ligadas por enlaces α -glucosídicos. Su fórmula aproximada es $(C_6H_{10}O_5)_n$. (Mathews C., Holde K.E. y Ahern K. G. 2004).

Químicamente, el almidón está integrado por dos polímeros de diferente estructura: la amilosa y la amilopectina. Ambas son moléculas de alto peso molecular organizadas en gránulos semicristalinos (1-100 μ m) y que influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas del almidón, principalmente en su capacidad de hidratación y gelatinización (Pingyi Zhang, 2005).

En la amilosa las unidades de D-glucosa se presentan como anillos de piranos unidos en α -1,4, la unidad de disacárido que se repite es la maltosa. (Figura N° 2). Es un polímero de cadena lineal o recta. (Mathews C., Holde K.E. y Ahern K. G. 2004). El peso molecular de la amilosa varía según su clase botánica, el cuidado puesto en su aislamiento y el método utilizado. (Carrera, J. E. 2002).

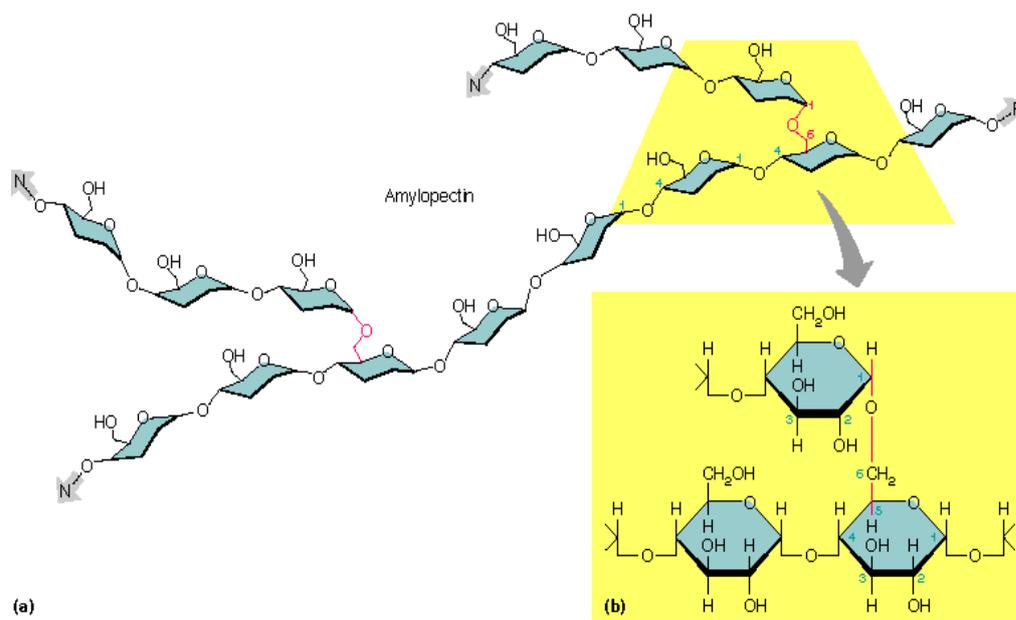
Figura N° 2. Estructura secundaria de la amilosa



Fuente: (Mathews C., Holde K.E. y Ahern K. G. 2004).

La amilopectina, con mayor peso molecular, es un polímero de unidades de D-glucosa de cadenas ramificadas de longitud mediana (24 a 30 unidades por ramificación) con enlaces glucosídicos en la cadena principal del tipo α -1,4 y con enlaces en los puntos de ramificación del tipo α -1,6 formando de esta manera una estructura ramificada (Hyun-Jung Chung, Qiang Liu. 2009) (Figura N° 3).

Figura N° 3. Amilopectina, un glucano ramificado. (a) estructura primaria de la amilopectina. Se indican los extremos no reductores (N) y los reductores (R). (b) Estructura ramificada de un punto de ramificación.

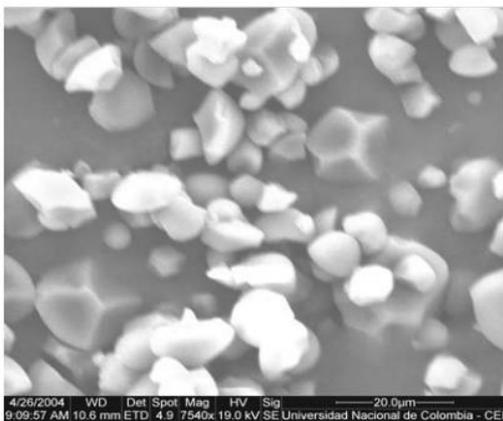


Fuente: (Mathews C., Holde K.E. y Ahern K. G. 2004).

El almidón se presenta en forma de gránulos blancos, formados por polímero lineal (amilosa) y un polímero ramificado (amilopectina). Los dos polímeros se hallan en el gránulo de almidón, están orientados y asociados en la estructura reticular cristalina, de tal modo que los gránulos son insolubles en el agua fría y algo resistente a las enzimas hidrolíticas naturales. (Mathews, C.K., K.E. Van Holde y K.G. Ahern, 2004).

Los gránulos de almidón de arracacha son irregulares, con superficie estriada y de forma globular y poliédrica. (Figura N°) Rodríguez D. *et al.* (2005),

Figura N° . Microfotografías de almidón de arracacha tomadas en el microscopio de barrido electrónico (1000x).



Rodríguez D. *et al.* (2005),

Rodríguez D. *et al.* (2005), realizó diferentes ensayos de caracterización fisicoquímica y farmacotécnica del almidón de arracacha amarilla (*Arracacia xanthorrhiza*). La determinación del tamaño de partícula, realizada por microscopía óptica, muestra una distribución log-normal comprendida entre 5 y 35 μm ; la forma, evaluada mediante microscopía electrónica de barrido, es poliédrica irregular; el rango de temperatura de gelatinización, determinado mediante calorimetría diferencial de barrido, está comprendido entre 49 y 55°C; el contenido de amilosa, cuantificado mediante colorimetría, es cercano al 18%; el comportamiento frente a la humedad relativa lo clasifica como un material moderadamente higroscópico y sus propiedades farmacotécnicas demuestran una baja voluminosidad, flujo pobre y un buen desempeño bajo compresión.

Cuadro N° 2. Algunas propiedades farmacotécnicas del almidón arracacha amarilla.

Densidad			Porosidad total (%)	Voluminosidad		Ángulo de reposo	Índice de Hausner	Índice de Carr
Aparente (g/mL)	Apisonada (g/mL)	Verdadera (g/mL)		Aparente (mL/g)	Aparente Apisonada (mL/g)			
0.59 (0.43)	0.78 (6.42)	1.38 (0.26)	56.72 (0.33)	1.67 (0.43)	1.29 (7.86)	41.57 (6.88)	1.35	24.00

* Valores entre paréntesis Desviación Estándar Relativa correspondiente a 18 determinaciones para densidad aparente y apisonada, porosidad, voluminosidad aparente y apisonada y ángulo de reposo. Tres determinaciones para densidad verdadera.

Rodríguez D. *et al.* (2005),

2.3. Hidrólisis de Almidón

La hidrólisis industrial del almidón comprende 3 etapas sucesivas:

a. Gelatinización:

Cuando el almidón es calentado en agua en exceso, este cae en una fase de transición; esta fase está asociada con una difusión de agua dentro del gránulo y posterior región amorfa, hidratación e hinchazón radial, pérdida de birrefringencia, pérdida del orden de región cristalina y lixiviación de la amilosa y amilopectina.

Los gránulos de almidón son prácticamente insolubles en agua fría, pero a medida que se incrementa la temperatura cuando estos se encuentran en una solución acuosa, se retiene agua y el gránulo empieza a hincharse aumentando de volumen. Cuando se alcanza una determinada temperatura, el gránulo alcanza su volumen máximo, si se administra más calor, el gránulo hinchado incapacitado para retener el líquido se rompe parcialmente, así la amilosa y la amilopectina se dispersan en el seno de la disolución.

La gelatinización transforma los gránulos de almidón insolubles en una solución de las moléculas constituyentes en forma individual. (Hongsheng Liu *et al.* 2009).

A medida que aumenta el volumen de los gránulos, aumenta la viscosidad de la dispersión acuosa. Cuando los gránulos se rompen, la viscosidad se reduce hasta un valor estable en el que se produce un gel cuyas características físicas y químicas son diferentes en cada almidón. La temperatura de gelatinización es aquella en la cual se alcanza el máximo de viscosidad y se pierden la birrefringencia (índice de refracción de los gránulos) y el patrón de difracción de rayos X. Esta temperatura es realmente un intervalo, porque así los gránulos provengan de la misma fuente botánica, tienen diferente composición y organización, lo que origina que unos sean más resistentes que otros (Hyun-Jung Chung, QiangLiu, 2010).

Las características físicas, químicas, funcionales, reológicas y microestructurales de los almidones modificados de **yuca** dependen del tipo de tratamiento térmico utilizado. La pregelatinización ocasionan los cambios más marcados en las mismas, los cuales se manifestaron como la pérdida

de la integridad granular, un aumento en la absorción de agua, la solubilidad y en el poder de hinchamiento y en una disminución de la tendencia a retrogradar. Se podría recomendar la incorporación de este almidón en formulaciones donde se requiera un desarrollo rápido de viscosidad, con una máxima dispersabilidad y solubilidad, sin que se requiera para ello de un proceso de cocción, como por ejemplo, bebidas instantáneas, pudines, rellenos para productos de pastelería, etc. (González, Z. y E. Pérez, 2003).

b. Licuefacción o dextrinización:

Es el proceso mediante el cual a partir de un almidón gelatinizado se obtiene una rápida disminución de la viscosidad en virtud de una hidrólisis parcial. En esta etapa se producen polisacáridos de longitud intermedia (maltodextrinas con 5 a 10 unidades de glucosa) y pequeñas cantidades de polisacáridos de alto peso molecular, como también algunos de bajo peso molecular (glucosa, maltosa entre otros).

El término de licuefacción puede definirse como la combinación de dos procesos: la completa gelatinización de los gránulos del polisacárido y la dextrinización para degradar la molécula de almidón (Rodríguez, 1999).

Una vez que los gránulos de almidón están suficientemente hidratados se encuentran preparados para una primera acción enzimática, la misma es llevada a cabo en agitación y a temperaturas elevadas (95 - 100 °C) por una α -amilasa termoestable. La enzima de licuefacción ataca al azar a los enlaces glucosídicos α -1,4 hidrolizando las cadenas de almidón en dextrinas lo cual trae como consecuencia un importante descenso en la viscosidad, este proceso es conocido como la dextrinización del almidón y generalmente tiene un período de duración de una o dos horas bajo condiciones específicas que estarán determinadas tanto por la acción enzimática como por los requerimientos del producto a obtener. La acción prolongada de la enzima termoestable ocasiona una hidrólisis parcial de las inicialmente largas cadenas y de esta forma evita el fenómeno de retrogradación del almidón a altas temperaturas, alrededor de 10 DE el producto de licuefacción es razonablemente estable. (Gil Montilla, L.D., 2008).

c. Sacarificación:

A partir de las maltodextrinas de la etapa anterior se completa la hidrólisis total del almidón a glucosa. En la digestibilidad de almidones como materia prima, muchos factores como el tamaño de particular, relación de amilosa:amilopectina, extensión de la asociación molecular entre los componentes del almidón, grado de cristalinidad, longitud de la cadena de amilosa y presencia de complejos lípidos-amilosa, juegan un papel importante en la degradación hidrolítica (Cummings, J. H., &Englyst, H. N. 1995).

Después que ha concluido el proceso de la licuefacción, se origina un nuevo substrato

(dextrinas) el cual es susceptible a la acción de las enzimas de sacarificación. Dichas enzimas pueden ser α -amilasas termolábiles, exo-amilasas o enzimas desramificadoras. Según su especificidad las enzimas atacan los enlaces glucosídicos α -1,4 y/o α -1,6 originando sacáridos de diversas longitudes de cadena. Este proceso es llevado a cabo bajo rangos de temperatura que oscilan los 55 y 60°C, al igual que en el proceso de licuefacción es importante la agitación y un adecuado control de pH.

Según los requerimientos del producto de sacarificación a obtener, se escoge la enzima de acción. Por ejemplo, la enzima amiloglucosidasa favorece la producción de glucosa, mientras que las beta-amilasas favorecen la formación de maltosa. (Gil Montilla, L.D., 2008).

2.3.1. Comportamiento del almidón a los procesos de hidrólisis

La catálisis enzimática solamente afecta el almidón gelatinizado. El almidón del banano parece ser muy resistente a la hidrólisis de enzimas (Teixeira, M. A. V., et al.1998). Observaciones microscópicas revelan que los gránulos del banano están formados por una forma irregular con superficies lisas. Esta densa y lisa superficie en los almidones nativos del banano podrían ser parcialmente los responsables de esta resistencia. Mediante estudios de SEM, Gallant *et. al.* (1992) demostró que el gránulo de almidón tiene una capa delgada de bloques que impide la acción de la enzima y reduce la velocidad de hidrólisis. Además de esto, los gránulos de almidón podrían estar atrapados en una pared celular residual, y protegerlos de los ataques enzimáticos (Pingyi Zhang, 2005).

Por su parte, Alvis A., C.A. Vélez, H. S. Villada y M. Rada-Mendoza (2008), estudiaron las propiedades fisicoquímicas y la morfología y los viscoamilogramas de cuatro almidones nativos de ñame, tres de yuca y uno de papa. Reportan que el contenido de cenizas y amilosa, la temperatura de gelatinización y la viscosidad fue inferior en yuca; la grasa mostró diferencias entre yuca y papa; el índice de absorción de agua en ñame, papa y yuca, mostró diferencias significativas. En el índice de solubilidad en agua no se apreciaron diferencias significativas entre ñame y papa. Añaden que la facilidad de cocción fue similar en ñame y papa; el incremento en la viscosidad de la pasta fue mayor en ñame y papa. Igualmente, se observaron diferencias en la forma y tamaño del gránulo. Indican que estos cambios en las propiedades, la viscosidad y la morfología, pueden influir en la fabricación y producción de productos alimentarios y no alimentarios derivados de estos almidones. Concluyen que el estudio muestra que existen diferencias en el comportamiento de varias de las propiedades entre los almidones nativos de raíces y tubérculos y la diferencia se debe a la relación de amilosa/amilopectina como se analizó según las propiedades físico-químicas, la forma y el tamaño del gránulo. Además indican que la alta viscosidad de los almidones de ñame y papa en comparación con los almidones nativos de yuca, puede presentar ventajas o desventajas competitivas, dependiendo del tipo de aplicación que se desee desarrollar. Si se quieren desarrollar sopas o alimentos líquidos espesos, lo ideal

es trabajar con almidones de alta viscosidad pero si se desarrollan alimentos fluidos sería importante trabajar con almidones de baja viscosidad.

Hung y Morita (2005), demostraron que en materiales amiláceos nativos de yuca, *Manihot esculenta* Crantz y batata, *Ipomoea batata*, se presentó una digestibilidad lenta, dada a la presencia de fracciones de almidón resistentes. Sin embargo, estos autores indicaron que al cabo de 2 horas de acción de la enzima α -amilasa en este mismo sustrato, hubo un aumento de la tasa de hidrólisis hasta un 88,5%. En otras muestras de *Canna edulis* y papa, *Solanum tuberosum*, estos investigadores observaron que el tiempo de hidrólisis fue menor mostrando un bajo grado de hidrólisis (51 y 48%, respectivamente), el cual fue atribuido a la posible existencia de una fosforilización o a la formación de complejos.

De esta forma, se puede concluir que tanto la resistencia por forma y encapsulado de los gránulos de almidón pueden ser los responsables de la baja digestibilidad y resistencia al ataque enzimático, requiriendo ser gelatinizados para poder ser degradados por enzimas. Los principales almidones comerciales, como el almidón de maíz, son hidrolizados por enzimas (amilasas) las cuales acceden al interior del gránulo por medio de canales. Los almidones que no contienen poros, tales como los de la papa y ñame, sufren una erosión de la superficie del gránulo. Los almidones del banano se encuentran en esta última categoría (Pingyi Zhang, 2005).

El desdoblamiento hidrolítico de los polímeros que contienen el almidón produce mediante fijación de agua, el monosacárido Glucosa. Esta reacción es catalizada por ácidos o enzimas y es ampliamente utilizada en la industria para la obtención de almidones modificados para aplicaciones en alimentos (Yufero E. 1998).

La producción de Dextrinas a partir de almidón se realiza por hidrólisis ácida con la utilización de HCL diluido y cocimiento a presión. En la Hidrólisis enzimática (licuefacción) se hace uso de alfa amilasa regular o uso de alfa amilasa termoresistente. (Fennema, O. 2000).

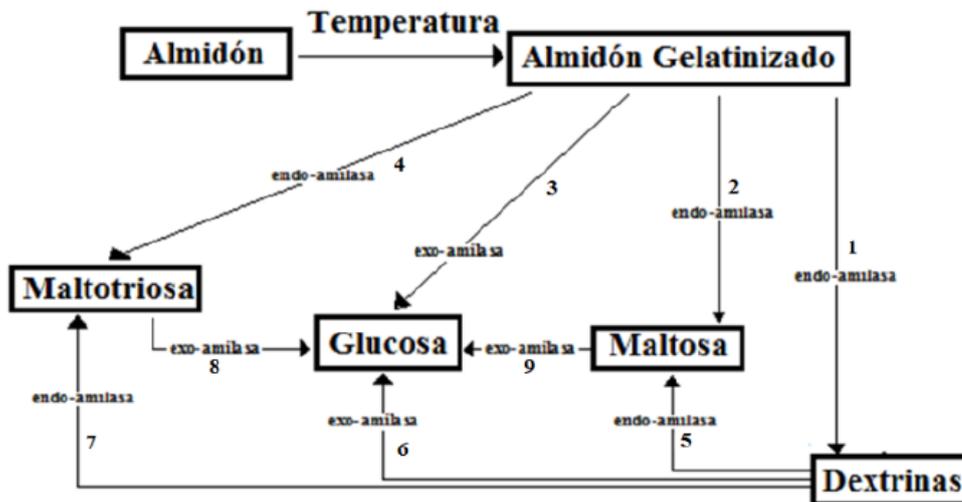
2.3.2. Hidrólisis enzimática

La hidrólisis enzimática en los últimos 30 años ha desplazado la hidrólisis ácida, debido a que se dispone de nuevas enzimas. Hoy en día la mayor parte de la hidrólisis de almidón se realiza usando enzimas, ya que esta técnica presenta ventajas como: control de la formación de productos no deseables y mayor flexibilidad del producto. (Cortés Gavilanes A.L. 2004).

El esquema de reacción presenta la degradación enzimática del almidón gelatinizado, donde se considera el rompimiento de los enlaces del almidón por medio de una **endo-amilasa** que catalizan la hidrólisis de enlaces glucosídicos ramificados (1,6- α -D) en la amilopectina y endo-(1,4- α -D) en la amilosa para producir cadenas de oligosacáridos lineales de menor tamaño con terminales no reductoras, compuestos principalmente por dextrinas, maltotriosa y maltosa (Figura N° 5). Por otro lado, una **exo-amilasa** cataliza la liberación de unidades sucesivas de

glucosa de terminales no reductores de dextrinas y cadenas de oligosacáridos mediante la hidrólisis de enlaces glucosídicos lineales (1,4- α -D).(Cruz Ruiz, K. 2012).

Figura N°5. Esquema de reacción para la hidrólisis enzimática de almidón.



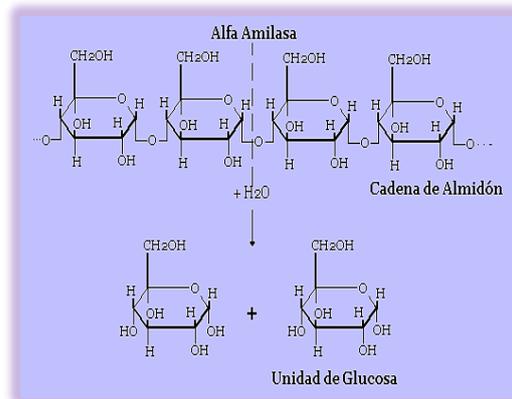
Fuente: (Cruz Ruiz, K. 2012).

El proceso de conversión de almidón gelatinizado a un jarabe glucosado generalmente está representado en 2 etapas: licuefacción y sacarificación. La licuefacción se presenta cuando se emplea la enzima α -amilasa (durante o después de gelatinizar el almidón), cortando las cadenas de los polímeros amilosa y amilopectina en cadenas de tamaño regular, dando como resultado dextrinas, maltosa, maltotriosa y maltopentosa. Para la producción de glucosa, se requiere de una segunda etapa consecutiva a la licuefacción denominada sacarificación, adicionando la enzima amiloglucosidasa (AMG) dando como principal producto la glucosa. (Cortés Gavilanes A.L. 2004).

a. Alfa-amilasa

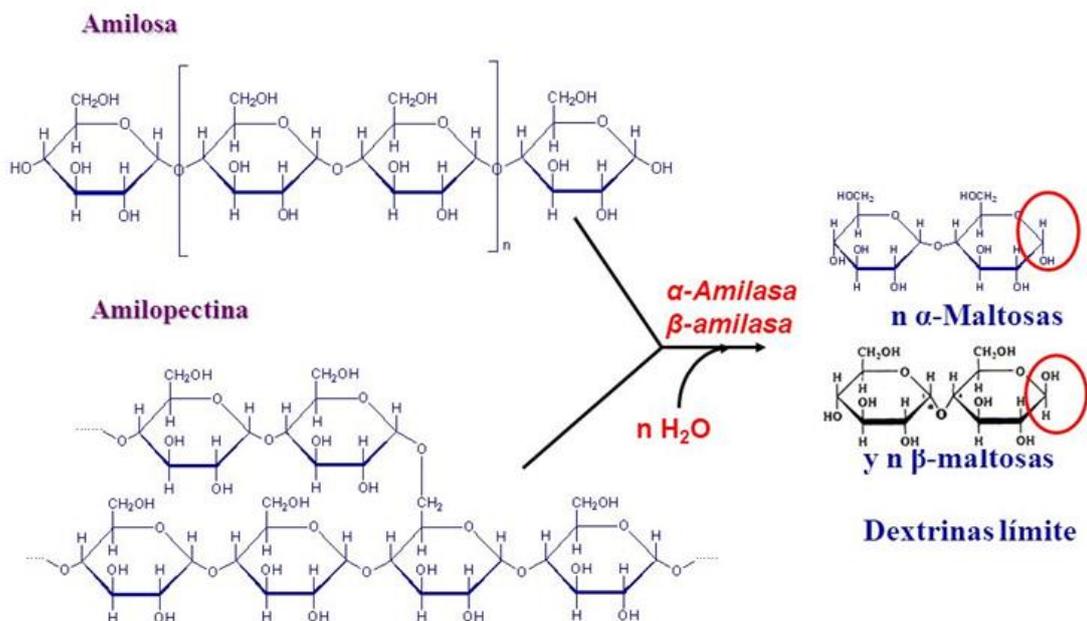
La α -amilasa, también conocida como α -1,4-glucanohidrolasa (EC 3.2.1.1), es una glucanasa endoactiva que catalizan la hidrólisis al azar de los enlaces α -(1,4) glicosídicos de la región central de las cadenas de amilosa y amilopectina excepto en las proximidades de los puntos de ramificación (Van Der Maarel, Marc J.E.C. 2002). Suckling *et al* (1990) y Cruger & Cruger (1993), reportaron que la velocidad de hidrólisis es más lenta en los enlaces cercanos a los puntos de ramificación. La hidrólisis de la amilopectina por esta enzima produce glucosa, maltosa y una serie de dextrinas que contienen enlaces ramificados conformados por 4 o más residuos de moléculas de glucosa que presentan enlaces α -1,6 provenientes de las uniones glucosídicas de la estructura original (Figura N° 6 y 7).

Figura N° 6. Hidrólisis del almidón por la α amilasa.



Fuente: Van Der Maarel, Marc J.E.C. 2002

Figura N° 7. Esquema de la hidrólisis enzimática de almidón en vegetales.



Fuente: (Fennema, O. 2000).

Los productos obtenidos en mayor concentración son maltosa, maltotriosa y maltopentosa, hidrolizando completamente la maltohexosa (Wiseman A., 1991). El peso molecular reportado para las α -amilasas provenientes de *Bacillus licheniformis* encuentra alrededor de los 60kDa (Damodara Rao Mendu, 2005).

Esta enzima tiene un peso molecular de 50.000 Daltons, es estable a pH de 5.5-8.0 con una actividad óptima de 5.9. Las α -amilasas son enzimas dependientes de calcio, aunque el catión no esté integrado en el centro activo de la enzima, se encuentra fuertemente unido a la enzima

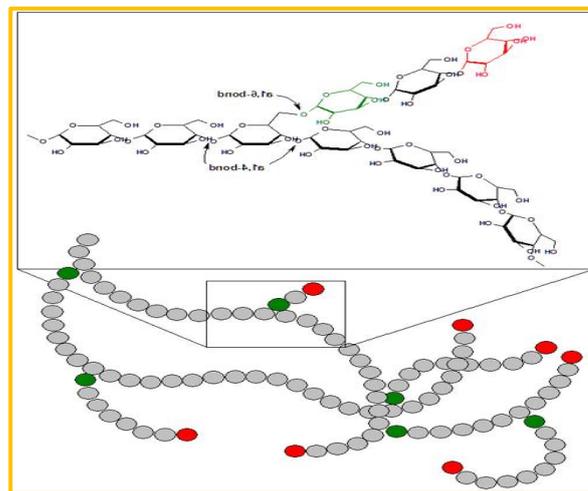
y sólo pueden ser removidos a pH bajos por el uso de agentes quelantes. La completa remoción del calcio conlleva a una pérdida total de actividad (Pedroza, 1999). Se cree que el Ca^{+2} estabiliza la conformación global de la enzima, encontrándose hasta 10 iones por molécula de enzimas (GodFey y Reinchelt, 1993). La importancia radica en que mantiene la molécula de la enzima en la configuración óptima para generar una máxima actividad y estabilidad. A menudo se nombra la α amilasa como enzima licuante debida a su rápida acción para disminuir la viscosidad de las soluciones de almidón.

Las α -amilasas comerciales pueden ser de origen bacteriano o fúngico, las de origen bacteriano son más termoestables que las fúngicas. Las fúngicas se utilizan para la obtención de productos que contienen elevadas proporciones en maltosas (Martínez, 2005).

b. Pululanasa

También conocida como pululan-6-glucanohidrolasa (EC: 3.2.1.41), hidroliza los enlaces glucosídicos α -1,6 en el pululan y tiene como producto principal la maltotriosa y maltosa e hidroliza el almidón para dar como producto principal maltosa (Adinarayana Kunamneni, Suren Singh, 2006). Esta es usada como enzima complementaria para la hidrólisis de amilopectina junto con la α -amilasa (Figura N° 8). Existen dos tipos de pululanasas. La pululanasa de tipo I únicamente hidroliza los enlaces α -1,6 del pululan y la pululanasa de tipo II que hidrolizan los enlaces α -1,6 en el pululan como también los enlaces α -1,4 de otros polisacáridos. Las pululanasas tienen un peso molecular que fluctúa entre 70 y 110kDa (Kim CH, 1993).

Figura N° 8. Hidrólisis del almidón por la Pululanasa.



Fuente:
y Ahern K. G. 2004).

(Mathews C., Holde K.E.

a. Amiloglucosidasa AMG

Conocida como glucoamilasa o amiloglucosidasa (EC: 3.2.1.3), es empleada en la producción de jarabes glucosados, ya que tiene la capacidad de hidrolizar los enlaces α -1,4 de extremos no reductores de polisacáridos para la formación de glucosa. Esta enzima también posee la capacidad de hidrolizar enlaces α -1,6 a más baja velocidad, pudiéndose completar la hidrólisis de almidón con la combinación de las tres enzimas α -amilasa, pululanasa y AMG de manera completa. (Sebnem Harsa, Shintaro Furusaki, 2001).

El peso molecular de la AMG puede variar dependiendo de su fuente. Existen dos tipos de AMG, tipo I y II. Las AMG tipo II tienden a tener un peso molecular mayor a los 100kDa. Las AMG tipo I poseen pesos moleculares cercanos a 60kDa (Sebnem Harsa, Shintaro Furusaki, 2001).

La amiloglucosidasa (Alfa-1,4- D-Glucanglucohidrolasa) es una exohidrolasa (Cuadro N° 3) también conocida como glucoamilasa, que hidroliza los enlaces glucosídicos alfa-1,4 y alfa-1,6 de la amilosa y la amilopectina separando unidades de glucosa a partir del extremo no reductor de la cadena. (Wisseman, A. 1995; Carrera, J.E. 2003).

El peso molecular de las AMG fúngicas también depende de la fuente. Para AMG formadas a partir de *Aspergillus niger*, su peso molecular se encuentra entre 60 y 70kDa (Pornpong Sutthirak *et. al.*, 2005).

Cuadro N° 3. Acción enzimática que ejercen sobre el almidón y los microorganismos productores de las enzimas.

Enzima	Acción	Microorganismos productores
α -glucosidasa	Necesita agua para la hidrólisis, ataca enlaces α -1,4 ó α -1,6 con menos frecuencia. Exoenzima que acorta las cadenas de almidón en una unidad, partir del extremo no reductor y libera glucosa.	<i>Aspergillus niger,</i> <i>Rhizopus niveus,</i> <i>Aspergillus oryzae</i>
β -amilasa	Necesita agua para la hidrólisis, ataca enlaces α -1,4. Acorta las cadenas de almidón en dos unidades, partir del extremo no reductor, las que libera como maltosa	<i>Bacillus megaterium,</i> <i>Bacillus cereus,</i> <i>Streptomyces sp.</i>
α -amilasa	Necesita agua para la hidrólisis, ataca enlaces α -1,4. Endoenzima que rompe las cadenas al azar generando una mezcla de maltosa y oligosacáridos	<i>Bacillus subtilis,</i> <i>Bacillus amyloliquefaciens,</i> <i>Bacillus polymixa,</i> <i>Bacillus licheniformis</i>
Enzimas desramificadoras (Pululanasa)	Necesita agua para la hidrólisis, ataca enlaces α -1,4. Desramificación de la amilopeptina produciendo una mezcla de dextrinas y unos pocos azúcares.	<i>Clostridium thermodyrosulfurico,</i> <i>Leuconostoc,</i> <i>Enterobacter aerogenes, Bacillus polymixa</i>

Fuente: (González, 2002).

2.3.3. Equivalente de dextrosa” (ED)

El valor de Equivalente Dextrosa (ED), es utilizado como un indicador del grado de hidrólisis de un jarabe. El ED del almidón es cero y el de la dextrosa es 100 (Quaglia & Gennaro 2003).

Se define como el porcentaje de azúcares reductores de un jarabe, calculado como dextrosa en base seca (Badui 2006); en consecuencia, el ED de un producto de hidrólisis es igual a su poder reductor como % del poder reductor de la dextrosa pura (D-Glucosa), y por tanto, el ED está inversamente relacionado con el peso molecular medio (Fennema 2000).

Los jarabes de glucosa son una mezcla entre una solución acuosa de D-glucosa, maltosa y otros oligosacáridos llamados dextrinas. Estos son caracterizados y clasificados por su “equivalente de dextrosa” (ED) que está definido como: el porcentaje en peso de glucósidos reductores presentes en el jarabe con respecto al peso de los sólidos totales de oligosacáridos o que su poder es similar al de una solución con % de glucosa igual al ED.

Los jarabes de glucosa se pueden clasificar según su contenido de dextrosa, (Cuadro N° 4). Los jarabes del tipo I consisten principalmente de segmentos de peso molecular alto y dextrinas lineales. Los jarabes del tipo II contienen 50 – 75% de sacáridos de bajo peso molecular, incluyendo D-Glucosa, maltosa y maltotriosa. Los jarabes del tipo III, denominados como jarabes de glucosa altamente fermentables o de alta conversión, contienen entre 75-85% de D-glucosa,

maltosa y maltotriosa. Los jarabes del tipo IV, contienen principalmente D-Glucosa. (J. BeMiller and R. Whistle, 2009).

Cuadro N° 4. Clasificación de los jarabes de glucosa según su equivalente de dextrosa (DE).

TIPO DE JARABE	DE
I	20-38
II	38-58
III	58-73
IV	73

Fuente: (J. BeMiller and R. Whistle, 2009).

La hidrólisis de dispersiones de almidón, tanto con ácidos como con enzimas, produce maltodextrinas. Las maltodextrinas son descritas y clasificadas normalmente de acuerdo con su equivalencia en dextrosa (ED). El ED está relacionado con el grado de polimerización (GP) a través de la siguiente ecuación: $ED = 100/GP$ (tanto ED como GP son valores medios de las poblaciones de moléculas). En consecuencia, el ED de un producto de hidrólisis es igual a su poder reductor como porcentaje del poder reductor de la dextrosa pura (D-glucosa), y por tanto, el ED está inversamente relacionado con el peso molecular medio. Las maltodextrinas se definen como productos cuyos valores de ED son medibles, pero inferiores a 20. (Beltrán Mondragón A. D. y L. A. Herreño Téllez, 2010).

Las maltodextrinas de menor ED no son higroscópicas, mientras que las de mayor ED (es decir, las de menor peso molecular medio) tienden a absorber humedad. Las maltodextrinas son más bien insípidas y prácticamente sin sabor dulce, y son excelentes para contribuir al cuerpo o volumen de muchos sistemas alimenticios. La hidrólisis hasta valores de ED de 20-60 proporciona mezclas de moléculas que, cuando son desecadas, se llaman sólidos de jarabe de maíz. Estos sólidos de jarabe de maíz se disuelven muy rápidamente y poseen un ligero sabor dulce. La hidrólisis continua del almidón produce una mezcla de D-glucosa, maltosa y otros maltooligosacáridos. Los jarabes con esta composición se producen en la industria en enormes cantidades. Uno de los más comunes tiene un ED de 42. Estos jarabes son estables a causa de que la cristalización no se produce con facilidad en tales mezclas complejas.

$$DE = \frac{\% \text{ Azúcar reductor}}{\% \text{ Sólidos}} \times 100$$

Grados brix

La concentración en sólidos solubles de una solución se expresa en grados Brix. Originariamente, los grados Brix son una medida de densidad. Un grado Brix es la densidad que

tiene, a 20° C, una solución de sacarosa al 1 %, y a esta concentración corresponde también un determinado índice de refracción.

Como los sólidos no son solamente sacarosa, sino que hay otros azúcares, ácidos y sales, un grado Brix no equivale a una concentración de sólidos disueltos de 1g/10ml. Los grados Brix son, por tanto, un índice comercial, aproximado, de esta concentración que se acepta convencionalmente como si todos los sólidos disueltos fueran sacarosa.

2.3.4. Estudios relacionados a la Investigación

López Munguía, (2002), menciona que las enzimas son catalizadores ideales para la industria alimentaria debido a su eficiencia, acción específica y 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, una 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. Sin embargo, las condiciones de operación están limitadas por las propiedades de cada una de ellas, esto es, cada enzima actúa en condiciones de pH y temperaturas específicas, lo cual constituye un problema para la industria al incrementar los costos o al disminuir la eficiencia y calidad de los productos.

Luna Imbacuán, W. A. y Mera Arroyo, J.A. (2006), llevaron a cabo un estudio cuyo objetivo fue validar el proceso de producción de dextrinas en la rallandería TODOYUCA, con el fin de impulsar el desarrollo de esta agroindustria generando un producto de mayor valor agregado. Se analizaron las condiciones del proceso de la rallandería y se determinó la eficiencia del proceso por medio de un balance de materia; luego se definieron las condiciones de operación y las etapas del proceso que deberían ser adaptadas para la producción de dextrinas de yuca a partir de almidón nativo. La evaluación de las dextrinas obtenidas se realizó por medio de pruebas de solubilidad en agua fría, poder viscosante, coloración con yodo y además se evaluaron las características de los adhesivos obtenidos a partir de dextrinas de yuca y de maíz; finalmente se evaluó la posibilidad de incorporar la tecnología de peletizado-secado para la Producción de almidón nativo, almidón agrio y harina de yuca determinando las características funcionales y reológicas de estos productos luego de la aplicación de esta tecnología.

Caypo Luna C. y Pérez Azahuanche F. (2007), realizaron un estudio para obtener dextrinas a partir del almidón de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), por acción de la α -amilasa. La extracción del almidón se realizó siguiendo las siguientes etapas: lavado, pelado, triturado, sedimentado (24 horas), lavado, secado (40°C x15 h), triturado y tamizado en una malla (Nº 60). El medio dispersante fue cloruro de calcio (CaCl_2) 0,005 M a pH 7 y dosis constante de α -amilasa sobre gramos de sustrato (E/S) de 0,32mg/g. A tres suspensiones de almidón al 10%, 20% y

30%, calentados a 65°C, se les adicionó la solución de enzima (0,3 mg/g; pH: 7) y se hizo reaccionar a 70°C durante 40 y 60 min; después de las cuales se inactivó la enzima mediante ebullición y posterior enfriamiento a 20°C, luego se centrifugó y finalmente se procedió al secado (65°C x 20 h). Al material de la hidrólisis se le determinó azúcares reductores, equivalente de dextrosa y rendimiento de dextrina. Se encontró que a 40 minutos y dosis de almidón al 30%, el equivalente de dextrosa fue 10, indicando la presencia de dextrinas, que mostraron color amarillo pardo y sabor ligeramente amargo y sin dulzor. El rendimiento de fue de 80%.

Beltrán M. A. y Herreño T. L (2010) evaluaron la capacidad de hidrólisis de la enzima α -amilasa comercial BAN® 480L aplicándola a una mezcla harina de arroz-agua, para obtener una bebida vegetal a base de harina de arroz hidrolizado que presentó características favorables, puesto que el grado de hidrolisis ocasionado por la enzima, provocó disminución significativa de la viscosidad y equivalente de dextrosa del producto; el análisis microbiológico se ajusto a los criterios establecidos por el Ministerio de Salud para mezclas de cereales crudos, además las características sensoriales representan el nivel de aceptación obtenido por la bebida una vez conocida por los consumidores. Realizada la bebida vegetal a base de harina de arroz hidrolizado, se evaluaron varias formulaciones antes de la elaboración final y así fue escogida la que presentó mejores características aparentes y sensoriales (apariencia, color, palatabilidad, sabor y olor). Informan que es importante realizar una caracterización fisicoquímica del producto incluyendo las variables de viscosidad, contenido de azúcares reductores y totales, humedad, cenizas, densidad, contenido de proteína y pH, un análisis microbiológico de la bebida vegetal para ofrecer un producto completo al mercado que pueda ser consumido, finalmente un análisis sensorial del grado de satisfacción generado por la bebida al consumidor.

Barros Berrones, F. S, (2012), realizó un estudio de hidrolisis enzimática del almidón residual en extractos líquidos de camote (*Ipomoea batatas* L.), para elaboración de miel y estudio de sus propiedades funcionales. Se caracterizó la miel elaborada a partir del extracto líquido de camote, el mismo que se sometió a hidrolisis enzimática de almidón residual. Para la hidrolisis de los extractos líquidos se empleó la enzima Termamyl, en una concentración de 0-05% v/p, durante 40 min a 90°C. Se evaluó el efecto de las variables independientes: genotipo (camote morado y camote arrechó) y pH del extracto líquido para la hidrolisis (pH natural del jugo y pH ajustado al valor óptimo para la acción de la Termamyl) sobre el contenido de sólidos disueltos en los extractos líquidos hidrolizados. La caracterización de los extractos líquidos mostraron valores similares de pH (5.8 – 6.0) y almidón residual (1.0 – 1.4 g/L) en los dos genotipos de camote. El contenido de azucares, antocianinas y polifenoles, fue mayor en el extracto liquido del camote morado en relación con el genotipo arrechó.

Decheco Egúsquiza, A. (2014), en ensayos a escala laboratorio evaluó la hidrólisis del almidón de yuca al 30% p/v por el método de hidrólisis acida y enzimática. El proceso de hidrólisis ácida del almidón de yuca al 30% se evaluó haciendo un estudio del efecto de la concentración del

ácido clorhídrico de 1%, 3% y 5% sobre el rendimiento del proceso de elaboración del jarabe de glucosa. La hidrólisis enzimática del almidón se llevó a cabo empleando α amilasa fúngica al 1%, se preparó una concentración de almidón al 30% p/v.

Los productos fueron evaluados midiendo el grado de hidrólisis, expresado como porcentaje de azúcares reductores, porcentaje de Dextrosa Equivalente (D.E.), grados brix, porcentaje de rendimiento de jarabes y cristalinidad. Encontró que los parámetros más consistentes fueron el porcentaje de azúcares reductores, y porcentaje de Dextrosa Equivalente (D.E.), donde se demostró que existe diferencia significativa entre el porcentaje de azúcares reductores y porcentaje de equivalente de dextrosa (ED) medida para distintas temperaturas de licuefacción del almidón por la enzima α amilasa al 1%, siendo la temperatura de mayor actividad para la hidrólisis enzimática la de 70°C. Asimismo existió diferencia significativa entre el porcentaje de azúcares reductores y porcentaje de equivalente de dextrosa (ED) medida para distintas concentraciones de ácido clorhídrico para la licuefacción del almidón de yuca al 30% (p/v), siendo la concentración de HCl al 5% la que tuvo mayores rendimientos de estos parámetros para la hidrólisis ácida. Al comparar ambos tipos de hidrólisis se encontró que existió diferencia significativa entre el porcentaje de azúcares reductores y porcentaje de equivalente de dextrosa (ED) medida para la hidrólisis ácida y enzimática del almidón de yuca, siendo la hidrólisis enzimática la que tuvo mejores resultados. En la hidrólisis enzimática se obtuvo un producto de mayor valor agregado, se definieron las condiciones de operación y las etapas del proceso que deberían ser adaptadas para la producción de jarabe de glucosa a partir de almidón de yuca.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. UBICACIÓN.

La realización del presente estudio de investigación se dio lugar en las instalaciones de los laboratorios de la Universidad Le Cordon Bleu y de la Universidad Nacional del Callao.

3.2. MATERIALES

3.2.1. Materiales

a. Materiales de vidrio y otros:

- Vasos de precipitado de 50, 100, 250, 500 y 1000 ml.
- Probetas de 100, 250, 500 y 1000 ml.
- Fiolas de 50, 100 y 250 ml.
- Buretas de 25 y 50 ml.
- Recipientes pyrex
- Recipientes de porcelana
- Rallador
- Cuchillos
- Lienzo de tela de nylon
- Frascos de vidrio
- Morteros
- Papel filtro watman N° 1
- Pipetas volumétricas de 2, 5 y 10 ml.
- Embudos de vidrio
- Cocinillas eléctricas
- Luna de reloj
- Espátulas
- Bagueta
- Termómetro
- Pro-pipetas
- Desecadores
- Tubos de ensayo de vidrio (1,5 x 16,0 cm)
- Gradilla y otros.

b. MATERIAL BIOLÓGICO

- La obtención de harina de arracacha se realizó a partir de arracacha acopiada en el puesto del pabellón de frutas y verduras, ubicado en Minka. Callao. Durante el periodo del estudio se llegaron a utilizar 20 kilos de arracacha.
- Para la obtención de los hidrolizados se utilizó harina integral de arracacha que se obtuvo durante los meses de marzo a octubre del presente en condiciones de laboratorio y la Enzima alfa Amilasa fungal estándar.

c. Reactivos

- Almidón soluble
- Alfa amilasa fungal standard
- Agua destilada para la hidrólisis
- Solución de yodo diluida (1:5),
- NaOH al 1%
- Indicador de azul de metileno al 1%
- Reactivo de Benedict
- Reactivo de Fehling A y Fehling B
- Solución amortiguadora de fosfato sódico

3.2.2. Equipos

- Balanza de precisión DT-300A
- Balanza Analítica Adam
- Agitador magnético Fratom
- Refractómetro 0 - 32% Brix RHB-32/ATC
- Refractómetro 28 - 62% Brix RHB-62/ATC
- Centrifuga Hettich EBA 3S
- Medidor portátil de pH Hanna
- Estufa
- Mufla
- Incubadora
- Refrigeradora

• MATERIALES Y REACTIVOS UTILIZADOS



3.3. METODOS

La metodología seguida se baso en el conocimiento científico y tecnológico disponible.

3.3.1. Obtencion de harina de arracacha

Durante el presente estudio de investigación se procedió en forma continua a realizar la primera etapa experimental de la investigación que consistía en la obtención del harina integral de arracacha para poder tener suficiente sustrato para las diferentes pruebas y análisis de la presente investigación.

Se realizó aplicando las modificaciones al proceso de producción de harina que se realizo durante el primer, segundo y tercer trimestre de la investigación para tener para tener suficiente cantidad de harina para las diferentes pruebas de hidrólisis enzimática y para obtener mejores resultados en la calidad de la harina integral de arracacha que se iba a emplear en dichas pruebas.

ETAPAS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA HARINA INTEGRAL DE ARRACACHA

En la Figura N°9 se indica el diagrama de proceso de obtención de la harina integral de arracacha. El procedimiento desarrollado fue el siguiente:

1. OBTENCION DE PULPA RALLADA.

- Es necesario que las raíces tuberosas de arracacha sean seleccionadas descartando aquellas que presentaban daño causado por insectos o presencia de enfermedades.
- Se procedió luego al pesado de la arracacha (primera vez), y posterior lavado de la arracacha con agua potable para eliminar las impurezas, tierra adherida y raicillas.
- Se retiró la epidermis con el fin de dejar la pulpa expuesta para el rallado y se realizo el pesado de las arracachas peladas y el peso de las cascaras.
- Se cortaron las arracachas en pequeños trozos. Esta operación consiste en dividir las raíces o cepas en fragmentos más pequeños con el fin de facilitar las operaciones de secado, ya que con ellas se aumenta el área de contacto del material con el aire y se logra disminuir el tiempo de secado. Los fragmentos se cortaron en tajadas rectangulares delgadas que le den características con las cuales se pueda realizar eficientemente el secado.
- Cortadas las arracachas, se procedió a un secado que se realizo en una estufa a 40°C por 5 horas para disminuir su humedad y evitar contaminaciones posteriores con hongos y desarrollo de olores indeseables al secarse al medio ambiente. Disminuir el contenido de humedad de la arracacha permite conservar su calidad y facilita las operaciones de molienda.
- Luego se procedió a rallarlas de forma pareja con un rayador metálico manual (por la parte más fina), para disminuir el tamaño de partícula con el fin que la humedad del producto sea retirada fácilmente. labor que permitió desintegrar las células del parénquima y obtener una harina fina.
- Se procedió nuevamente a un secado por 40°C por 10 horas.es importante controlar el tiempo de secado y la temperatura de secado porque afectan la calidad final del producto.
- La harina de arracacha se molió y se tamizo con el fin de homogenizar el tamaño de partículas, se procedió al pesado de toda la harina obtenida y luego se empaco en frascos de vidrio secos y herméticamente sellados.
- Además, se midió el rendimiento de producción extracción de harina integral de arracacha, el cual se expresó en Kilogramos de harina/Kilogramos de arracacha fresca, para lo que hubo necesidad de pesar la arracacha antes y después del pelado, y del secado para establecer parámetros de rendimiento.
- El almacenamiento de la harina debe realizarse en recipientes en lugares protegidos de la lluvia y la luz solar directa, bien ventilados, sin acumulaciones de humedad.

Figura 9. Diagrama de proceso aplicado para obtener la harina integral de arracacha.



Se volvió a obtener harina integral a partir de arracacha para tener suficiente cantidad para las pruebas de hidrólisis enzimática.

A continuación se muestran las fotos del proceso:

- **ARRACACHA**



- **PESADO**



- **SELECCION Y LAVADO**



- **PELADO Y TROZADO**



PESADO DE ARRACACHA SIN CASCARA



PESADO DE LA CASCARA DE ARRACACHA



SECADO





RALLADO Y SECADO





2. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

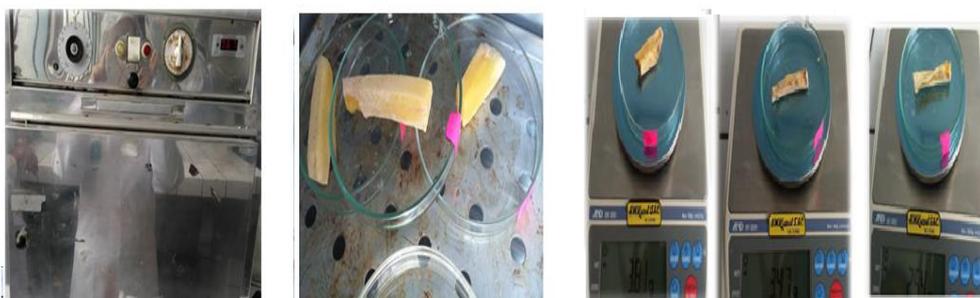
Se determino la humedad de la arracacha fresca y la humedad de la harina de arracacha. Se utilizo el método gravimétrico de determinación de humedad (INDECOPI. NTP 209.264. 2001). Para el cálculo del porcentaje de humedad se empleo la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Donde P_i , es el peso inicial de la muestra antes de colocarla en la estufa, P_f es el peso de la muestra después de someterla en la estufa.

Determinación de humedad la arracacha fresca:

- Pesar 10 gramos de arracacha pelada y cortada en una placa Petri (Se determino en diez muestras).
- Colocar en la estufa a 100-110°C por 24 horas y luego volver a pesar.



Determinación de humedad de la harina integral de la arracacha:

- Pesar 10 gramos de harina integral de la arracacha (del que se obtuvo en condiciones de laboratorio) en las placas Petri. (Se determino en diez muestras).
- Colocar en la estufa a 100 – 110 °C por 24 horas y luego volver a pesar.



3. DETERMINACIÓN DE CENIZAS.

Se utilizó el método gravimétrico de determinación de cenizas (INDECOPI NTP 209.265. 2001).

Para determinar el contenido de cenizas de la muestra por calcinación se pesaron 5 de muestra (harina de arracacha) en un crisol previamente tarado, luego fue calcinado en la mufla hasta rojo vivo (500°C) manteniendo la temperatura durante dos horas. Por último se transfirió la capsula el crisol, se dejó enfriar y se pesó. Se realizó la prueba por duplicado.

Para el cálculo del porcentaje de cenizas se empleó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{Pr}{Pw} \times 100$$

Donde Pr, es el peso de la muestra después de someterla a calcinación, Pw, es el peso inicial de la muestra.



1.1.1. Hidrólisis enzimática de la harina de arracacha

Se empleó almidón extraído de harina de arracacha variedad amarilla que se obtuvo durante los meses de marzo a octubre del 2015 en condiciones de laboratorio.

La enzima alfa amilasa de origen fúngico en polvo fue adquirida de la Empresa Granotec Perú S.A. De acuerdo a su Certificado de análisis (ver anexos), tenía una actividad enzimática mínima de 100,000 SKB/g. durante el periodo de estudio la enzima fue almacenada en refrigeración a 7 °C.

Se prepararon suspensiones de harina de arracacha de 30%, los cuales fueron hidrolizados enzimáticamente a 60°C, utilizando diferentes concentraciones de enzima alfa amilasa fúngica (1%, 2% y 3% (p/v). durante diferentes tiempos (20, 40 y 60 minutos). Los ensayos fueron realizados por triplicado.

Para los procesos de licuefacción y sacarificación se adaptaron vasos precipitados de 1000 ml como bioreactores, en los cuales se depositó la solución de 500 ml de harina de arracacha con una concentración de 30 % p/v.

Con el objetivo de evitar sedimentación del sustrato (harina de arracacha), fue necesario gelatinizar el almidón para que obtenga una estructura más desordenada que puede ser fácilmente atacada por la enzima.

El proceso de hidrólisis enzimática de la harina de arracacha se realizó por duplicado.

Se tuvo un control con solución de harina de arracacha al 30% (p/v) sin adición de enzima α amilasa fungal.

A continuación se presenta en la Figura N° 11, el esquema experimental seguido para realizar la hidrólisis enzimática de la harina de arracacha

Figura N° 11. Diagrama de proceso de Hidrólisis enzimática aplicado la harina de arracacha.



El procedimiento desarrollado fue el siguiente:

- Se preparó una solución de 500 ml de agua destilada con harina de arracacha al 30% en un vaso precipitado de 1000 ml y se midió el pH. Obtuvimos un pH de 6.5 (harina de arracacha y agua destilada).
- Se colocaron las soluciones en un agitador magnético durante 5 minutos para que se pueda homogeneizar el almidón completamente. Se midió el grado Brix en el refractómetro y el pH inicial.
- A continuación se colocaron en baño maría cada uno de los vasos de precipitado con las soluciones de almidón al 30% (p/v) a una temperatura de 60°C por 10 minutos para que

la mezcla pueda gelatinizar permitiendo el hinchamiento de los gránulos de almidón. Luego se midió el pH y grado brix. Durante este proceso no dejar de estar mezclando con la bagueta para evitar formación de grumos.

- Aparte se prepararon las disoluciones de la enzima alfa amilasa fungal, para lo cual se pesaron un equivalente del 1%, 2% y 3% del volumen de la disolución del almidón (1%, 2% y 3% (p/v). Para esto se disuelve a la enzima en 45 ml de agua destilada y 5 ml de Cloruro de calcio (cofactor al 2% p/v) para lograr que la actividad enzimática la α amilasa será mayor. Luego se homogenizan en el agitador magnético durante 3 minutos.
- Luego de la gelatinización de la harina de arracacha se agrega a las soluciones preparadas, la enzima alfa amilasa al 1%, 2% y 3% (p/v); se mide el pH y se vuelve a agitar con el agitador magnético durante 5 minutos.
- Se continuó el calentamiento en baño maría a 60°C para comprobar la concentración enzimática y los tiempos de incubación óptimos para los hidrolizados.
- Se anoto el tiempo de inicio de la hidrólisis por el aumento de los grados brix de la solución de harina de arracacha. Luego cada 10 minutos se medían los grados brix de las soluciones. Se mantuvo a baño maría los tiempos de 20, 40 y 60 minutos para las diferentes concentraciones enzimáticas de alfa amilasa (1%, 2% y 3% (p/v).
- Se observan y se anotan los resultados y todo cambio químico o físico que sucede durante las pruebas realizadas.
- Para cortar la actividad de la α amilasa se lleva a baño maría cada solución, a una temperatura de 85°C durante 10 minutos.
- Luego se procedió a realizar los controles de pH, grados brix y se realizo la prueba de lugol de cada tratamiento.
- Luego se procedió a la determinación de azúcares reductores para realizar el análisis de los resultados de las pruebas realizadas.

A continuación se muestran las fotos del proceso:

PREPARACION DE SOLUCIÓN HARINA DE ARRACACHA AL 30%



HOMOGENEIZACION EN AGITADOR MAGNETICO



MEDIDA DE PH Y GRADO BRUX INICIAL



ADICION DE CLORURO DE CALCIO Y HOMONENIZACION

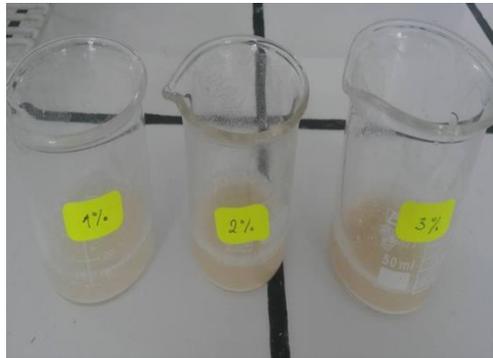


GELATINIZACIÓN a 60 °C DE SOLUCION HARINA DE ARRACACHA AL 30%



- **PREPARACION DE SOLUCION ENZIMATICA DE α AMILASA AL 1%, 2% y 3%**







ADICION Y HOMOGENIZACION DE LAS SOLUCIONES ENZIMATICAS DE α AMILASA AL 1%, 2% Y 3%





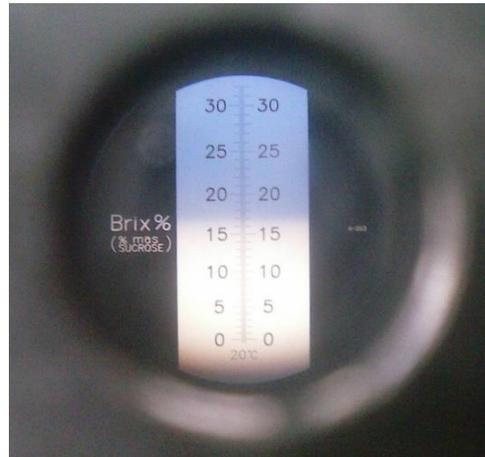
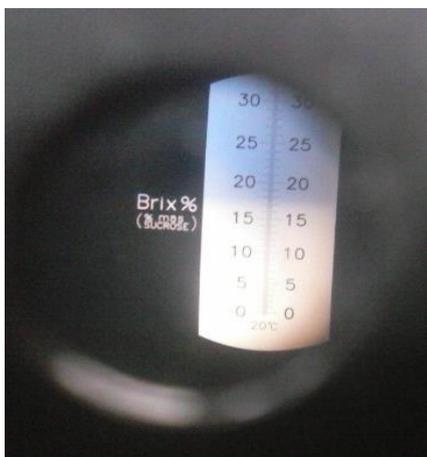
- **INCUBACION A 60°C POR 20, 40 y 60 MINUTOS PARA CADA TRATAMIENTO ENZIMATICO α AMILASA (1%, 2% Y 3%)**



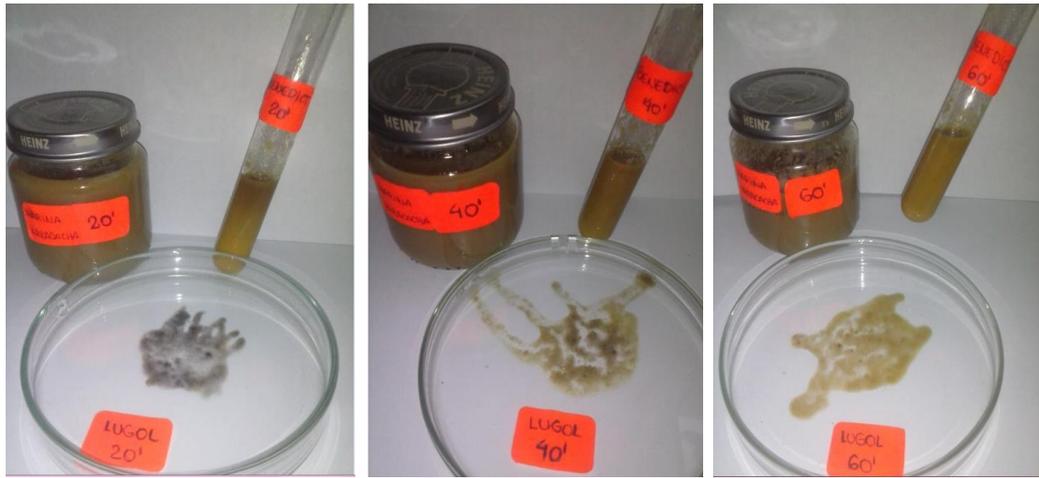


CONTROLES DE PH, LUGOL Y GRADOS BRIX DE LOS HIDROLIZADOS ENZIMATICOS DE CADA TRATAMIENTO

MEDICIÓN DE GRADOS BRIX DE LAS SOLUCIONES

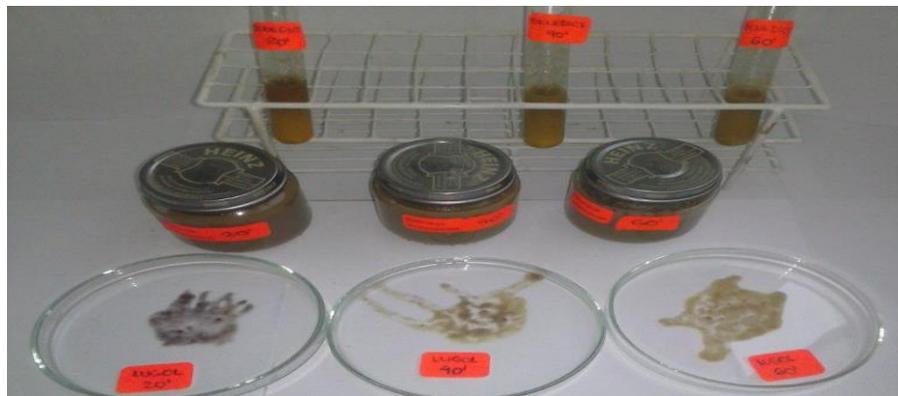


PRUEBA DE LUGOL



MEDICIÓN DE pH





**PRUEBA DE DETERMINACION DE AZUCARES REDUCTORES MÉTODO
VOLUMÉTRICO DE EYNON-LANE**





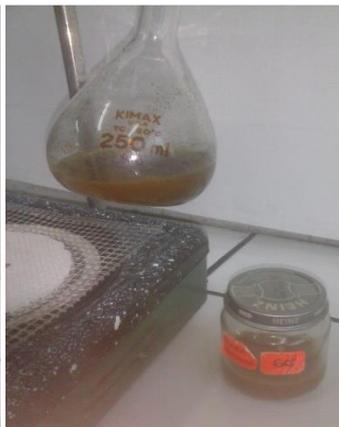
20 MINUTOS

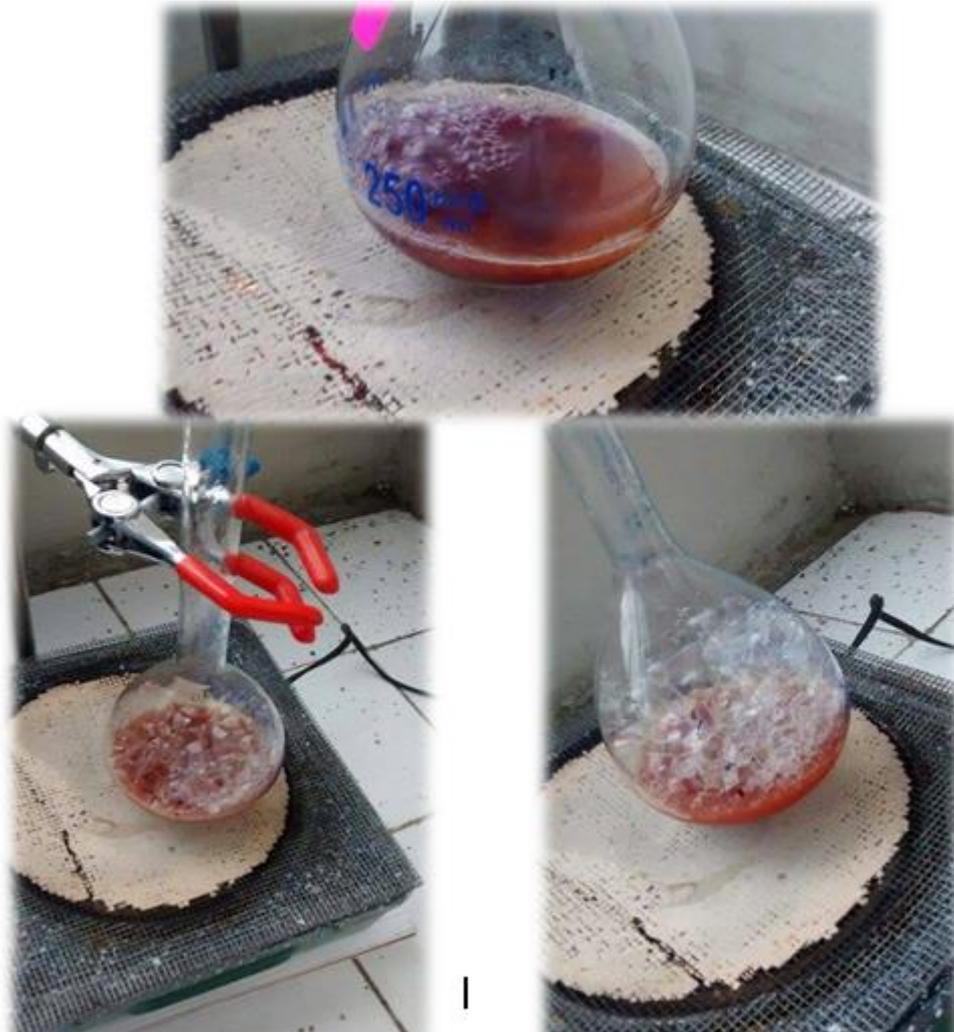


40 MINUTOS



60 MINUTOS





1.1.2. Evaluación del producto

- La hidrólisis enzimática fue detenida mediante inactivación de la enzima en baño maría a temperatura de ebullición del agua (85°C) durante 10 min y posterior enfriamiento con agua a temperatura ambiente.
- el líquido hidrolizado se traspasó a un vaso de precipitación, separándose 5 ml para la determinación cuantitativa de azúcares reductores (método volumétrico de Eynon-Lane (NTP 203.OOI2-1979 y NTP 208.OO5-1990), utilizando el reactivo de Fehling. También se realizó la prueba cualitativa de azúcares reductores utilizando el reactivo de Benedict.
- Luego de la determinación cuantitativa de azúcares reductores con el líquido hidrolizado se determinó el valor de Equivalente Dextrosa (ED), que es utilizado como un indicador del grado de hidrólisis de la solución. El ED del almidón es cero y el de la dextrosa es 100 (Quaglia & Gennaro, 2003). Se obtuvo por modificación del procedimiento para Azúcares Reductores según Lane y Eyrón ((NTP 203.OOI2-1979 y NTP 208.OO5-1990)
- Se anotaron los resultados de la prueba de la hidrólisis enzimática.

4. RESULTADOS

a. OBTENCIÓN DE LA HARINA DE ARRACACHA

Para la obtención de la harina de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) se requiere utilizar raíces tuberosas de arracacha fresca previamente seleccionadas descartando aquellas que presentaban daño causado por insectos o presencia de enfermedades para obtener un mayor rendimiento en la obtención de la harina para realizar las pruebas de hidrólisis enzimática del mismo.

En el Cuadro N°5, se muestran los balances de materia en la obtención de harina de arracacha a partir de 25 kilogramos de arracacha que se utilizaron en el presente estudio.

Cuadro N°5. Balances de materia en la obtención de harina de Arracacha.

Característica evaluada	Valor
Peso arracacha con cascara (Kg.)	20.00
Peso arracacha sin cascara (Kg.)	16.83
Peso de la cascara (Kg.)	3.17
Peso harina integral obtenido (Kg.)	8.42
Rendimiento (%)	42.1
Humedad arracacha (%)	69.60
Humedad harina arracacha (%)	11.23
Cenizas (%)	3.5

b. HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE LA HARINA ARRACACHA

El proceso de hidrólisis enzimática de la harina arracacha es bastante reproducible, siempre y cuando se mantengan constantes los parámetros de tiempo y temperatura.

Al añadir la enzima α amilasa al 1%, 2% y 3% luego de la gelatinización de la harina arracacha al 30%, la pasta disminuyo gradualmente su viscosidad, lo que no ocurrió en el control sin amilasa

que siguió manteniéndose viscoso todo el proceso. Esto puede deberse a que hubo una fragmentación del granulo de almidón, probablemente porque la enzima ocasiona un debilitamiento de la estructura cristalina del granulo de almidón de la solución de harina de arracacha

Conforme disminuía la viscosidad de las soluciones, iba aumentando en forma creciente los grados brix y formándose azúcares reductores en diferentes niveles de acuerdo a la concentración de la enzima (1%, 2% y 3%) y los tiempos de incubación (20, 40 y 60 minutos) (Cuadro N°10).

Cuadro N°10. Relación entre la concentración enzimática y tiempos de incubación con los grados brix, y azúcares reductores obtenidos al final del tratamiento en la hidrólisis enzimática de la harina de arracacha.

Relación entre la concentración de la enzima Amilasa y el tiempo de hidrólisis con los Grados Brix, % Azúcares Reductores y % Equivalente de Dextrosa obtenidos al final del tratamiento en la hidrólisis enzimática de la harina de arracacha.

Amilasa %	Tiempo (min.)	Grado Brix Final	Grado Brix Promedio	% Azúcar Reductor	% Azúcar Reductor Promedio
1	20	14	14,2	5	4,1
1	20	14,2		3,5	
1	20	14,4		3,8	
1	40	14,8	15	6	6,8
1	40	15		7	
1	40	15,2		7,4	
1	60	16	16	9,1	8,1
1	60	16,5		7,7	
1	60	15,5		7,5	
2	20	15,5	15,4	7,6	8,5
2	20	15,9		7,4	
2	20	14,9		8,5	
2	40	15,2	15,5	11,3	10,5
2	40	15,5		9,6	
2	40	15,6		10,6	
2	60	14,9	14,9	12,2	11,3
2	60	14,9		10,9	
2	60	15		10,8	
3	20	16,6	16,8	10	9,2
3	20	17		9,3	
3	20	16,8		8,3	
3	40	17	17,6	12,4	13,1
3	40	18,2		13,6	
3	40	17,2		13,2	
3	60	17,8	17,7	11,7	11,8

3	60	18		12,8	
3	60	17,4		11	

La temperatura de mejor rendimiento de la reacción de hidrólisis de la α amilasa al 1% fue de 70°C, ya que a esta temperatura se obtienen los jarabes con mayores °Brix, porcentajes de azúcares reductores y porcentajes de equivalente de dextrosa.(Cuadro N°11).

Al finalizar las ocho horas de hidrólisis enzimática con la α amilasa al 1%, el líquido filtrado tenía una tonalidad crema amarillenta.

Los porcentajes de azúcares reductores y porcentajes de equivalente de dextrosa obtenidos al final del tratamiento tuvieron diferentes niveles de acuerdo a la temperatura de licuefacción (o dextrinificación) del almidón de yuca. (Cuadro N°11 y 12).

Los mayores porcentajes de ambos parámetros se presentaron en las temperaturas de licuefacción de 65°C con valores promedio de 8.04 de % azúcar reductor y 21.89 de % de Equivalente Dextrosa, mientras que a 70°C se obtuvieron valores promedio de 8.71 de % azúcar reductor y 23.72 de % de Equivalente Dextrosa (Cuadro N°11 y Figura N°13).

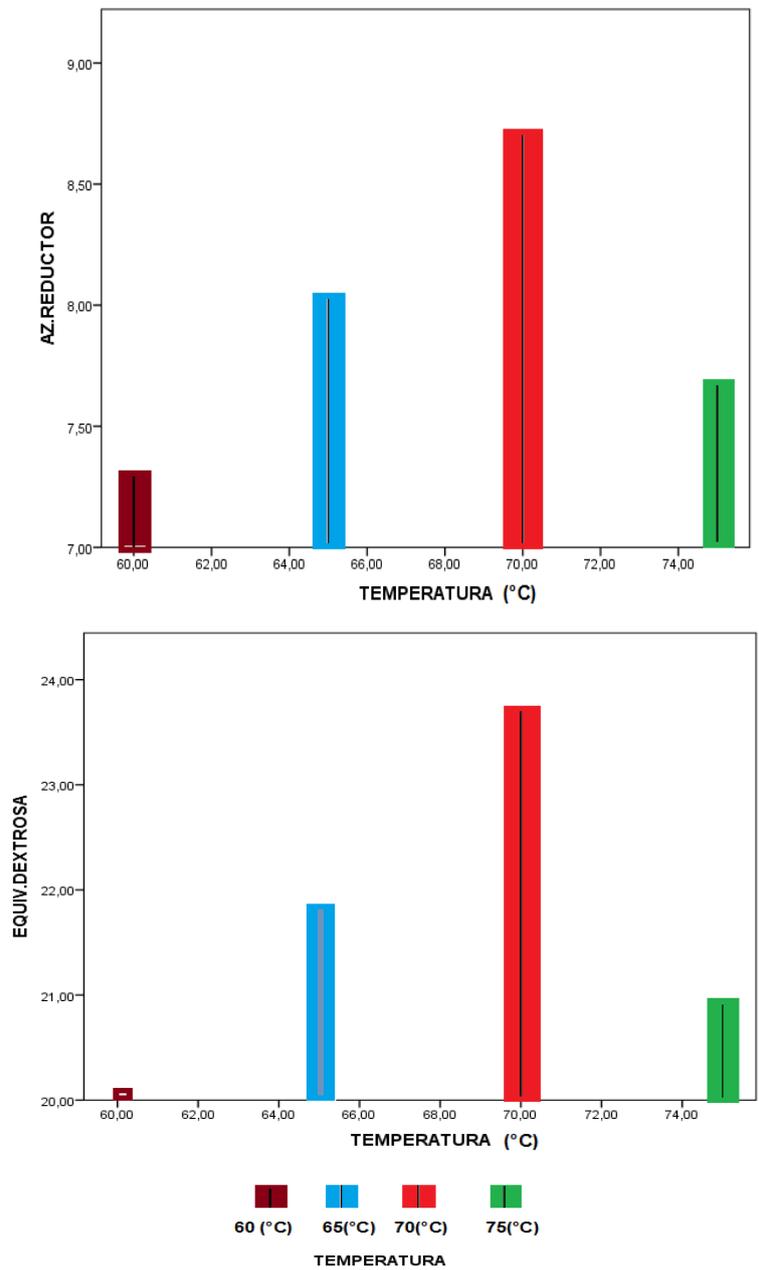
CuadroN°11. Relación entre la temperatura de licuefacción con los azúcares reductores y equivalente de dextrosa obtenidosal final del tratamiento en la hidrólisis enzimática del almidón de yuca.

Temperatura (°C)	Repetición	Azucares reductores (%)	Azucares Reductores Promedio (%)	Equivalente Dextrosa (%)	Equivalente Dextrosa Promedio (%)
60	1	7.43	7.31	20.24	20.1
	2	7.29		19.86	
65	1	8.27	8.04	22.53	21.89
	2	7.8		21.25	
70	1	8.52	8.71	23.21	23.72
	2	8.89		24.22	
75	1	7.8	7.68	21.25	20.91
	2	7.55		20.57	

Por lo tanto, la temperatura de hidrólisis no debe variar en el rango de 65-70 °C, ya que al bajar este rango los °Brix son bajos, y al subirse el rango la mezcla se gelatiniza debido al almidón de

yuca el cual tiene una temperatura de 70 °C y la hidrólisis no se realiza, siempre y cuando se mantenga la agitación constante en este proceso(Figura N°13).

Figura N°13. Relación entre la temperatura de licuefacción con los azúcares reductores y equivalente de dextrosa en la hidrólisis enzimática del almidón de yuca.



Las temperaturas de licuefacción afectan los rendimientos de jarabe de glucosa obtenido del proceso de hidrólisis enzimática afectando la actividad de la enzima de licuefacción del almidón de yuca. (Cuadro N°12).

Cuadro N°12. Relación entre la temperatura de licuefacción con el rendimiento de jarabe de glucosa obtenido en la hidrólisis enzimática del almidón de yuca.

Temperatura (°C)	Repetición	Volumen final del jarabe (ml)	Volumen final de jarabe (ml)	Rendimiento jarabe (%)	Rendimiento jarabe (%) Promedio
60	1	230	227.5	46	45.5
	2	225		45	
65	1	260	263	52	52.6
	2	266		53.2	
70	1	322	305	64	61
	2	288		57.6	
75	1	252	255	50.4	51
	2	258		51.6	

La variación en el pH no es considerable ya que en todas las pruebas realizadas no varió mucho estando en un rango de pH de 6 a 6,5 apropiados para que la enzima α amilasa al 1% pudiera hidrolizar el almidón de yuca.(Cuadro N°13).

Los jarabes obtenidos en la hidrólisis enzimática fueron poco viscosos, amarillentos y con brillo, a menor viscosidad se observó menor absorvancia. Según Skoog (2001), la relación que existe entre absorvancia y cristalinidad es inversa, es decir a mayor absorvancia, menor cristalinidad y viceversa.La mayor cristalinidad se observó en los jarabes obtenidos a una temperatura de 70 °C(Cuadro N°13).

Cuadro N°13. Relación entre la temperatura de licuefacción con el pH y absorvancia (Cristalinidad) del jarabe de glucosa obtenido en la hidrólisis enzimática del almidón de yuca.

Temperatura (°C)	Repetición	pH final	pH final promedio	Absorvancia Jarabe	Absorvancia Jarabe Promedio
60	1	6.5	6.5	0.067	0.058
	2	6.5		0.048	
65	1	6	6	0.219	0.213
	2	6		0.207	
70	1	6	6	0.65	0.651
	2	6		0.652	
75	1	6	6	0.112	0.098
	2	6		0.083	

Los productos obtenidos, se pueden considerar como jarabes intermedios de diferente composición ricos en oligosacáridos de cadenas lineales cortas o maltodextrinas que pueden ser más adelante, convertidos por enzimas específicas a otros productos como jarabes ricos en maltosa, jarabes de alto contenido de azúcares fermentables;

Estos jarabes pueden ser utilizados en la industria por sus propiedades funcionales como la capacidad de formar geles, pastas y la estabilización de emulsiones agua/aceite (Clarke 1993, Wojciech et al. 2003).

c. COMPARATIVO TIPOS DE HIDRÓLISIS DE ALMIDÓN

En general se pudo observar que la enzima amilasa actuó en mayor proporción en la hidrólisis del almidón que por acción del ácido clorhídrico, sin embargo la hidrólisis enzimática fue limitante ya que no tuvo valores altos de azúcares reductores y equivalentes de dextrosa como se esperaba, esto es por la poca proporción de amilosa del almidón de yuca (14 a 19 % según Hoover, 2002), y esta enzima hidroliza enlaces 1-4 glucosídicos. (Cuadro N°14).

Cuadro N°14. Caracterización de los jarabes obtenidos de cada proceso de hidrólisis (ácida y enzimática) aplicado al almidón de yuca en función de los grados brix y % de azúcares reductores.

TIPO DE HIDRÓLISIS	Repetición	Grado Brix final	Grado Brix promedio	Azúcares reductores (%)	Azúcares Reductores Promedio (%)
ACIDA	1	22.1	21.6	5.6	5.5
	2	21		5.3	
ENZIMATICA	1	35	35.8	8.52	8.71
	2	36.5		8.89	

Los resultados arrojados por cada ensayo presentaron variabilidad en los porcentajes de equivalente de dextrosa de cada proceso de hidrólisis (ácida y enzimática) siendo mayores en la hidrólisis enzimática a 70 °C con α amilasa al 1% (ED 23.72%) que en la hidrólisis ácida con HCl al 5% (15%).

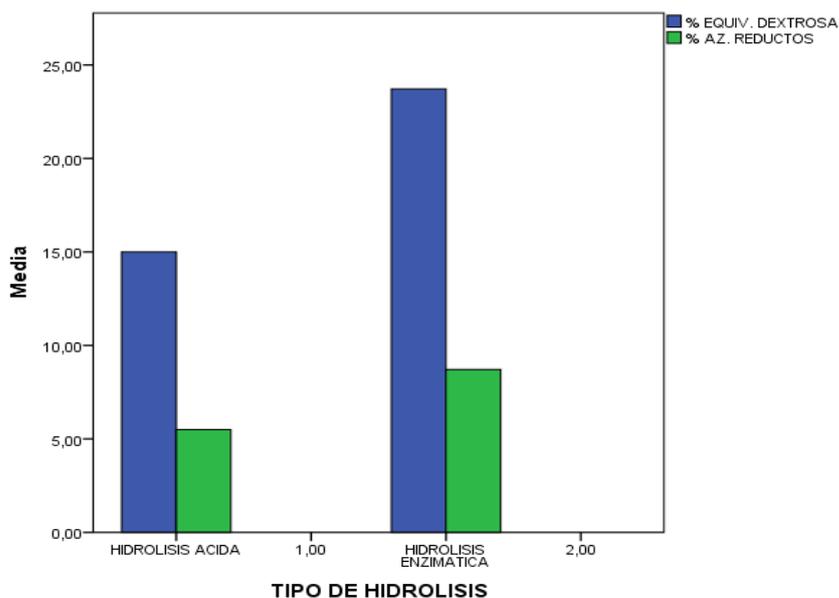
Los resultados de equivalente de dextrosa se presentan el Cuadro N°15, relacionados con su respectivo porcentaje de azúcares reductores con relación al tipo de hidrólisis (ácida o enzimática) durante un tiempo de 8 horas.

Cuadro N°15. Caracterización de los jarabes obtenidos de cada proceso de hidrólisis (ácida y enzimática) aplicado al almidón de yuca en función del % de azúcares reductores y al % de Equivalente Dextrosa.

TIPO DE HIDRÓLISIS	Repetición	Azúcares reductores (%)	Azúcares Reductores Promedio (%)	Equivalente Dextrosa (%)	Equivalente Dextrosa Promedio (%)
ACIDA	1	5.6	5.5	15.4	15
	2	5.3		14.5	
ENZIMATICA	1	8.52	8.71	23.21	23.72
	2	8.89		24.22	

Del almidón de yuca hidrolizado se obtuvieron productos con valores diferentes de D.E, siendo mucho más solubles que el almidón nativo y con posibilidades de aplicación en la industria de alimentos y farmacéutica.

Figura N° 14. Relación de la producción de los azúcares reductores y equivalente de dextrosa obtenidos al final del tratamiento en la hidrólisis ácida y enzimática del almidón de yuca.



Las temperaturas de licuefacción (hidrólisis enzimática) y las concentraciones de ácido clorhídrico (hidrólisis ácida) afectan los rendimientos de jarabe de glucosa obtenido del proceso de hidrólisis y licuefacción del almidón de yuca. Se obtuvieron mayores rendimientos de jarabe en la hidrólisis enzimática. (Cuadro N°16).

Cuadro N°16. Caracterización de los jarabes obtenidos de cada proceso de hidrólisis (ácida y enzimática) aplicado al almidón de yuca en función del rendimiento de jarabe de glucosa obtenido.

TIPO DE HIDRÓLISIS	Repetición	Volumen final del jarabe (ml)	Volumen final de jarabe Promedio (ml)	Rendimiento jarabe (%)	Rendimiento jarabe (%) Promedio
ACIDA	1	102	105	20.4	21
	2	108		21.6	
ENZIMATICA	1	322	305	64	61
	2	288		57.6	

Los jarabes obtenidos de la hidrólisis acida fueron más viscosos reportando una menor cristalinidad que los obtenidos por hidrólisis enzimática. (Cuadro N°17).

Cuadro N°17. Caracterización de los jarabes obtenidos de cada proceso de hidrólisis (acida y enzimática) aplicado al almidón de yuca en función del pH y absorvancia (Cristalinidad) del jarabe de glucosa obtenido.

TIPO DE HIDRÓLISIS	Repetición	pH final	pH final promedio	Absorvancia Jarabe	Absorvancia Jarabe Promedio
ACIDA	1	2	2	0.801	0.755
	2	2		0.709	
ENZIMATICA	1	6	6	0.65	0.651
	2	6		0.652	

5. DISCUSIÓN

a. DISCUSIÓN DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN.

COMPARACIÓN DEL % DE AMILASA RESPECTO AL % EQUIVALENTE DE DEXTROSA Factores inter-sujetos

		N
Porcentaje de Amilasa	1	9
	2	9
	3	9

Contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas error(a)

Variable dependiente: Equivalente en Dextrosa

F	gl1	gl2	Significación
1,324	2	24	,285

La significancia nos indica que podemos asumir que las varianzas son iguales

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Equivalente en Dextrosa

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	364,739(a)	2	182,369	14,664	,000
Intersección amilasa	9606,907	1	9606,907	772,455	,000
Error	364,739	2	182,369	14,664	,000
Total	298,484	24	12,437		
Total corregida	10270,130	27			
	663,223	26			

Nos indica que existen diferencias significativas entre los porcentajes de amilasa respecto al % de equivalente de dextrosa

Medias marginales estimadas

Porcentaje de Amilasa

Variable dependiente: Equivalente en Dextrosa

Porcentaje de Amilasa	Media	Error típ.	Intervalo de confianza al 95%.	
			Límite inferior	Límite superior
1	13,844	1,176	11,418	16,271
2	20,200	1,176	17,774	22,626
3	22,544	1,176	20,118	24,971

Porcentaje de Amilasa

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Equivalente en Dextrosa
DHS de Tukey

(I) Porcentaje de Amilasa	(J) Porcentaje de Amilasa	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Intervalo de confianza al 95%.	
					Límite superior	Límite inferior
1	2	-6,356(*)	1,6625	,002	-10,507	-2,204
	3	-8,700(*)	1,6625	,000	-12,852	-4,548
2	1	6,356(*)	1,6625	,002	2,204	10,507
	3	-2,344	1,6625	,352	-6,496	1,807
3	1	8,700(*)	1,6625	,000	4,548	12,852
	2	2,344	1,6625	,352	-1,807	6,496

- EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVA ENTRE LOS PORCENTAJES DE EQUIVALENTE EN DEXTROSA 1 CON 2
- EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVA ENTRE LOS PORCENTAJES DE EQUIVALENTE EN DEXTROSA 1 CON 3
- NO EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVA ENTRE LOS PORCENTAJES DE EQUIVALENTE EN DEXTROSA 2 CON 3

Subconjuntos homogéneos

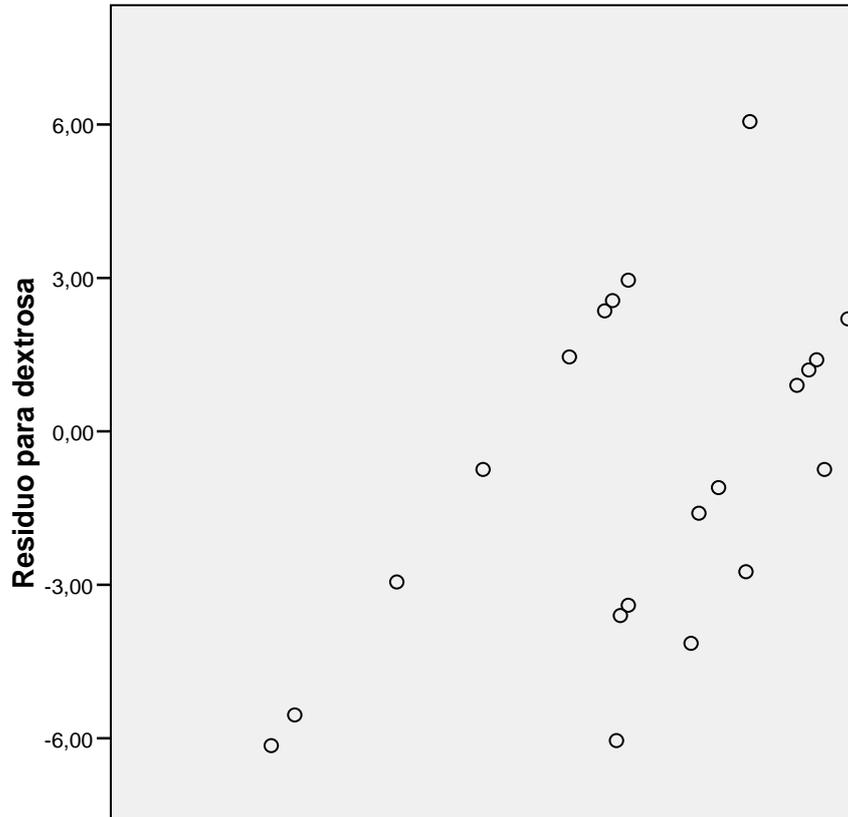
Equivalente en Dextrosa

DHS de Tukey

Porcentaje de Amilasa	N	Subconjunto	
		2	1
1	9	13,844	
2	9		20,200
3	9		22,544
Significación		1,000	,352

LOS SUBCONJUNTOS HOMOGENEOS SON LOS PORCENTAJES 2 CON 3

Gráfico



SE OBSERVA QUE LOS SUBCONJUNTOS PRESENTAN UNA TENDENCIA LINEAL, Y LA DIFERENCIA DEL SUBCONJUNTO 1 RESPECTO A LOS SUBCONJUNTO 2 Y 3

COMPARACIÓN DEL % DE AMILASA RESPECTO AL % AZUCAR REDUCTOR

Factores inter-sujetos

		N
Porcentaje de Amilasa	1	9
	2	9
	3	9

Contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas error(a)

Variable dependiente: Azucar Reductor

F	gl1	gl2	Significación
,062	2	24	,940

La significancia nos indica que podemos asumir que las varianzas son iguales

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Azucar Reductor

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	120,343(a)	2	60,171	18,235	,000
Intersección amilasa	2281,601	1	2281,601	691,433	,000
Error	120,343	2	60,171	18,235	,000
Total	79,196	24	3,300		
Total corregida	2481,140	27			
	199,539	26			

Nos indica que existen diferencias significativas entre los porcentajes de amilasa respecto al % de AZUCAR REDUCTOR

Medias marginales estimadas

Porcentaje de Amilasa

Variable dependiente: Azucar Reductor

Porcentaje de Amilasa	Media	Error típ.	Intervalo de confianza al 95%.	
			Límite inferior	Límite superior
1	6,333	,606	5,084	7,583
2	9,878	,606	8,628	11,127
3	11,367	,606	10,117	12,616

Pruebas post hoc

Porcentaje de Amilasa

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Azucar Reductor
DHS de Tukey

(I) Porcentaje de Amilasa	(J) Porcentaje de Amilasa	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Intervalo de confianza al 95%.	
					Límite superior	Límite inferior
	2	-3,544(*)	,8563	,001	-5,683	-1,406
	3	-5,033(*)	,8563	,000	-7,172	-21,895
2	1	3,544(*)	,8563	,001	1,406	5,683
	3	-1,489	,8563	,212	-3,627	650
3	1	5,033(*)	,8563	,000	2,895	
	2	1,489	,8563	,212	-,650	

- EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVA ENTRE LOS PORCENTAJES DE AZUCAR REDUCTOR 1 CON 2
- EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVA ENTRE LOS PORCENTAJES DE AZUCAR REDUCTOR1 CON 3
- NO EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVA ENTRE LOS PORCENTAJES DE AZUCAR REDUCTOR 2 CON 3

Subconjuntos homogéneos

Azucar Reductor

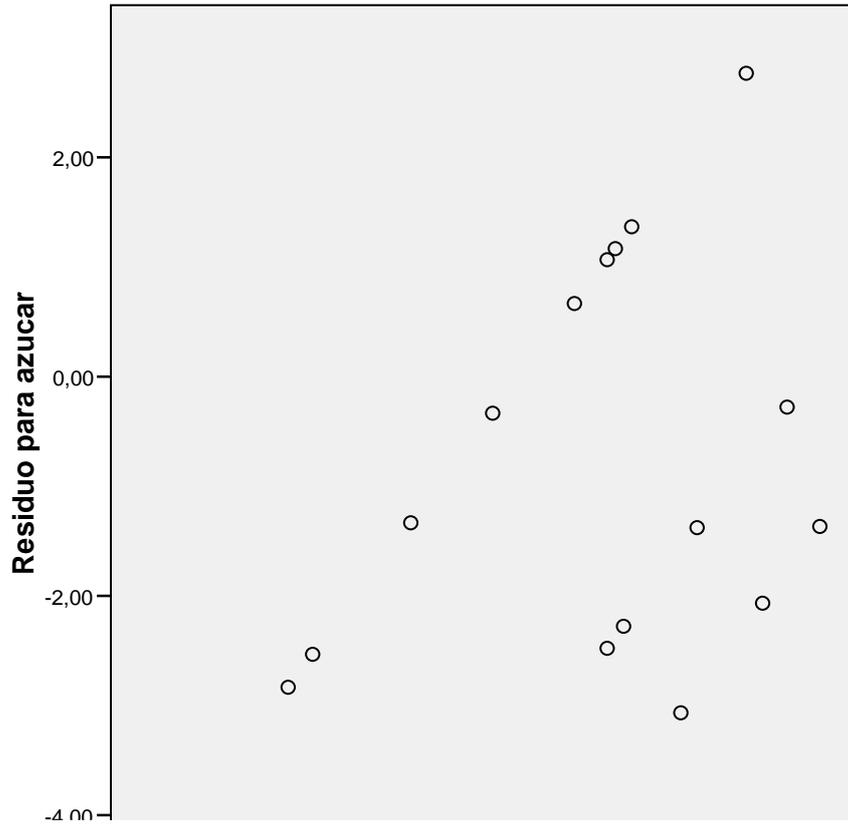
DHS de Tukey

Porcentaje de Amilasa	N	Subconjunto	
		2	1
1	9	6,333	
2	9		9,878
3	9		11,367
Significación		1,000	,212

LOS SUBCONJUNTOS HOMOGENEOS SON LOS PORCENTAJES 2 CON 3

Gráfico

Notas



SE OBSERVA QUE LOS SUBCONJUNTOS PRESENTAN UNA TENDENCIA LINEAL, Y LA DIFERENCIA DEL SUBCONJUNTO 1 RESPECTO A LOS SUBCONJUNTO 2 Y 3

COMPARACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE AMILASA RESPECTO A LOS TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN DE % EQUIVALENTE DE DEXTROSA

Factores inter-sujetos

		Etiqueta del valor	N
Porcentaje de Amilasa	1		3
	2		3
	3		3
Tiempo de % Equivalente de Dextrosa	1	20 minutos	3
	2	40 minutos	3
	3	60 minutos	3

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Promedio de % Equivalente en Dextrosa

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	194,473(a)	4	48,618	18,652	,008
Intersección	3203,560	1	3203,560	1228,987	,000
amilasa	120,667	2	60,333	23,146	,006
tiempo_dex	73,807	2	36,903	14,157	,015
Error	10,427	4	2,607		
Total	3408,460	9			
Total corregida	204,900	8			

EXISTE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE LOS PORCENTAJES DE AMILASA USADO Y LOS TIEMPO DE % EQUIVALENTE EN DEXTROSA

Tiempo de % Equivalente de Dextrosa

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Promedio de % Equivalente en Dextrosa

DHS de Tukey

(I) Tiempo de % Equivalente de Dextrosa	(J) Tiempo de % Equivalente de Dextrosa	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Intervalo de confianza al 95%.	
					Límite superior	Límite inferior
20 minutos	40 minutos	-5,733(*)	1,3182	,026	-10,432	-1,035
	60 minutos	-6,367(*)	1,3182	,018	-11,065	-1,668
40 minutos	20 minutos	5,733(*)	1,3182	,026	1,035	10,432
	60 minutos	-,633	1,3182	,884	-5,332	4,065
60 minutos	20 minutos	6,367(*)	1,3182	,018	1,668	11,065
	40 minutos	,633	1,3182	,884	-4,065	5,332

- **EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVAS DE CONCENTRACION DE DEXTROSA ENTRE LOS TIEMPOS 20 MINUTOS CON 40 MINUTOS**
- **EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVAS DE CONCENTRACION DE DEXTROSA ENTRE LOS TIEMPOS 20 MINUTOS CON 60 MINUTOS**
- **NO EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVAS DE CONCENTRACION DE DEXTROSA ENTRE LOS TIEMPOS 40 MINUTOS CON 60 MINUTOS**

Subconjuntos homogéneos

Promedio de % Equivalente en Dextrosa

DHS de Tukey

Tiempo de % Equivalente de Dextrosa	N	Subconjunto	
		2	1
20 minutos	3	14,833	
40 minutos	3		20,567
60 minutos	3		21,200
Significación		1,000	,884

SE OBSERVA QUE LOS SUBCONJUNTOS RELACIONADOS SON LOS ANALIZADOS EN LOS TIEMPOS DE 40 Y 60 MINUTOS

Porcentaje de Amilasa

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Promedio de % Equivalente en Dextrosa
DHS de Tukey

(I) Porcentaje de Amilasa	(J) Porcentaje de Amilasa	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Intervalo de confianza al 95%.	
					Límite superior	Límite inferior
1	2	-6,333(*)	1,3182	,019	-11,032	-1,635
	3	-8,667(*)	1,3182	,006	-13,365	-3,968
2	1	6,333(*)	1,3182	,019	1,635	11,032
	3	-2,333	1,3182	,289	-7,032	2,365
3	1	8,667(*)	1,3182	,006	3,968	13,365
	2	2,333	1,3182	,289	-2,365	7,032

- EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVAS DE LOS PROCENTAJES DE EQUIVALENTE EN DEXTROSA 1 CON 2
- EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVAS DE LOS PROCENTAJES DE EQUIVALENTE EN DEXTROSA 1 CON 3
- NO EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVAS DE LOS PROCENTAJES DE EQUIVALENTE EN DEXTROSA 2 CON 3

Subconjuntos homogéneos

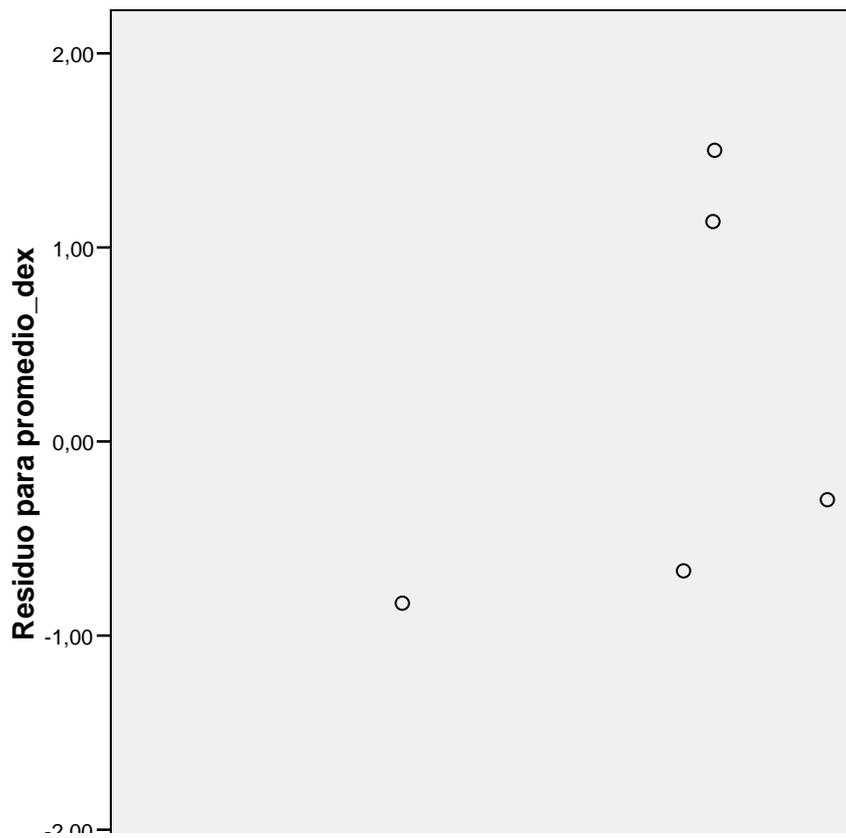
Promedio de % Equivalente en Dextrosa

DHS de Tukey

Porcentaje de Amilasa	N	Subconjunto	
		2	1
1	3	13,867	
2	3		20,200
3	3		22,533
Significación		1,000	,289

LOS SUBCONJUNTOS DE % DE AMILASA QUE GUARDAN RELACION SON LOS PORCENTAJES 2 CON 3

Gráfico



El grafico indica que no hay presencia de interacción entre los porcentajes de amilasa con los tiempos de concentración de dextrosa

**COMPARACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE AMILASA RESPECTO A LOS TIEMPOS DE
CONCENTRACIÓN DE % AZUCAR REDUCTOR**

Factores inter-sujetos

		Etiqueta del valor	N
Porcentaje de Amilasa	1		3
	2		3
	3		3
Tiempo de % Azucar Reductor	1	20 minutos	3
	2	40 minutos	3
	3	60 minutos	3

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Promedio de % Azucar Reductor

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	59,233(a)	4	14,808	26,132	,004
Intersección amilasa	772,840	1	772,840	1363,835	,000
tiempo_azu	41,127	2	20,563	36,288	,003
Error	18,107	2	9,053	15,976	,012
Total	2,267	4	,567		
Total corregida	834,340	9			
	61,500	8			

**EXISTE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE LOS PORCENTAJES DE AMILASA USADO
Y LOS TIEMPO DE % AZUCAR REDUCTOR**

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Promedio de % Azucar Reductor
DHS de Tukey

(I) Tiempo de % Azucar Reductor	(J) Tiempo de % Azucar Reductor	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Intervalo de confianza al 95%.	
					Límite superior	Límite inferior
20 minutos	40 minutos	-2,867(*)	,6146	,021	-5,057	-,676
	60 minutos	-3,133(*)	,6146	,015	-5,324	-,943
40 minutos	20 minutos	2,867(*)	,6146	,021	,676	5,057
	60 minutos	-,267	,6146	,904	-2,457	1,924
60 minutos	20 minutos	3,133(*)	,6146	,015	,943	5,324
	40 minutos	,267	,6146	,904	-1,924	2,457

- **EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVAS DE % AZUCAR REDUCTOR ENTRE LOS TIEMPOS 20 MINUTOS CON 40 MINUTOS**
- **EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVAS % AZUCAR REDUCTOR ENTRE LOS TIEMPOS 20 MINUTOS CON 60 MINUTOS**
- **NO EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVAS DE % AZUCAR REDUCTOR ENTRE LOS TIEMPOS 40 MINUTOS CON 60 MINUTOS**

Subconjuntos homegeos

Promedio de % Azucar Reductor

DHS de Tukey

Tiempo de % Azucar Reductor	N	Subconjunto	
		2	1
20 minutos	3	7,267	
40 minutos	3		10,133
60 minutos	3		10,400
Significación		1,000	,904

LOS SUBCONJUNTOS DE % AZUCAR REDUCTOR QUE GUARDAN RELACION SON LOS TIEMPOS 40 Y 60 MINUTOS

Porcentaje de Amilasa

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Promedio de % Azucar Reductor

DHS de Tukey

(I) Porcentaje de Amilasa	(J) Porcentaje de Amilasa	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Intervalo de confianza al 95%.	
					Límite superior	Límite inferior
1	2	-3,767(*)	,6146	,008	-5,957	-1,576
	3	-5,033(*)	,6146	,003	-7,224	-2,843
2	1	3,767(*)	,6146	,008	1,576	5,957
	3	-1,267	,6146	,214	-3,457	,924
3	1	5,033(*)	,6146	,003	2,843	7,224
	2	1,267	,6146		-,924	3,457

- EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVAS DE LOS PROCENTAJES DE AZUCAR REDUCTOR 1 CON 2
- EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVAS DE LOS PROCENTAJES DE AZUCAR REDUCTOR 1 CON 3
- NO EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVAS DE LOS PROCENTAJES DE AZUCAR REDUCTOR 2 CON 3

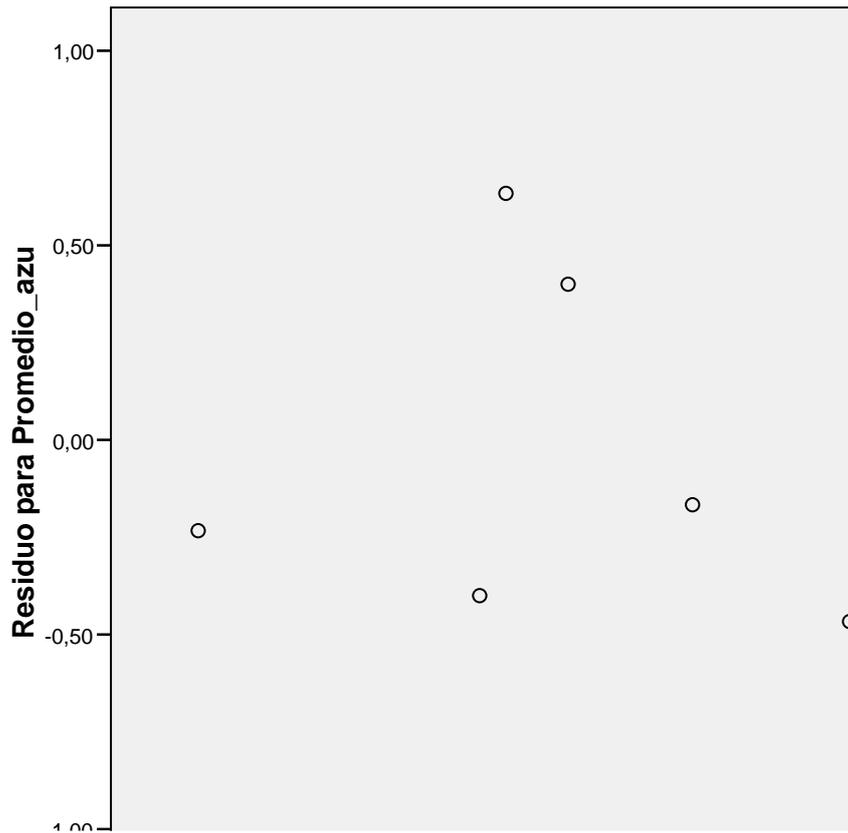
Subconjuntos homogéneos

Promedio de % Azucar Reductor

DHS de Tukey

Porcentaje de Amilasa	N	Subconjunto	
		2	1
1	3	6,333	
2	3		10,100
3	3		11,367
Significación		1,000	,214

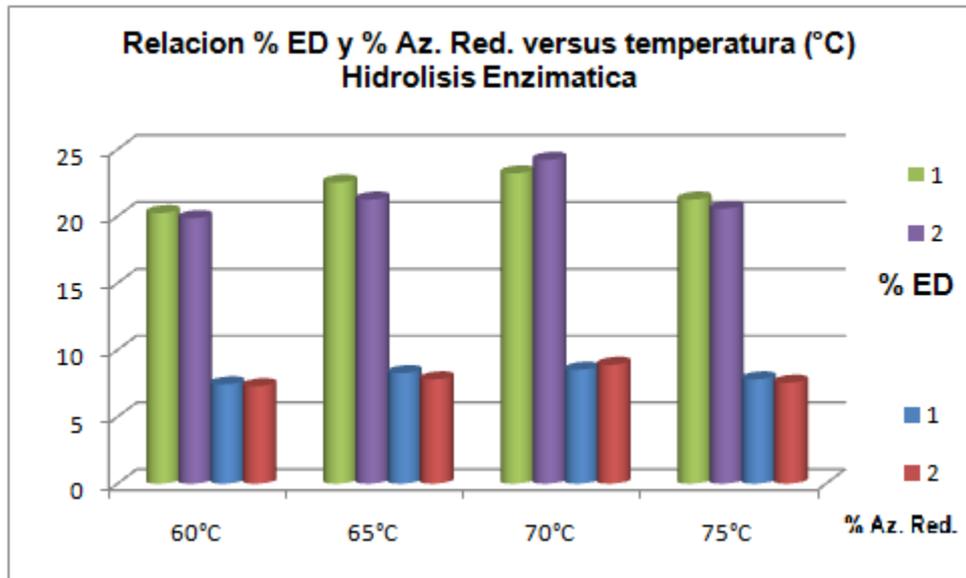
LOS SUBCONJUNTOS DE % DE AMILASA QUE GUARDAN RELACION SON LOS PORCENTAJES 2 CON 3



El grafico indica que no hay presencia de interacción entre los porcentajes de amilasa con los tiempos de concentración de AZUCAR REDUCTOR

La temperatura de hidrólisis enzimática no debe variar en el rango de 65-70 °C, ya que al bajar o aumentar este rango los °Brix, porcentaje de azúcares reductores y equivalentes de dextrosa obtenidos, son menores (Figura N°16). Durante la fase de gelatinización ocurrida a 60°C, los gránulos de almidón se fundieron y formaron una red polimérica que cuando se elevó la temperatura esta red se rompió y la amilosa y amilopectina se disuelven lo que favoreció la actividad hidrolítica de la α amilasa.

Figura N°16. Comparativo de los jarabes obtenidos de cada proceso de hidrólisis enzimática) aplicado al almidón de yuca en función del porcentaje (% de azúcares reductores (% Az. Red.) y el porcentaje de Equivalente Dextrosa. (% ED).



En ese rango de temperaturas (65-70 °C), la enzima conservó su estructura proteica natural y realizó la catálisis correspondiente. Por otro lado, cuando la enzima estuvo expuesta, a una temperatura más alta (75°C), la reacción no se dio con la misma intensidad, porque parte de la enzima es desnaturalizada por la excesiva alteración molecular que provoca que los enlaces de la enzima se disgreguen al aumentar la temperatura.

Las mejores condiciones para catálisis eficiente de la alfa amilasa al 1% fue la temperatura de 70°C a pH 6 pues el rendimiento del proceso depende de la concentración (actividad y afinidad) de esta enzima que fue mayor a esa temperatura. Esto se comprueba al analizar estadísticamente los efectos de la temperatura sobre la conversión a azúcares reductores y el porcentaje de equivalentes reductores, donde se observa como los efectos principales correspondientes a las temperaturas aplicadas para que la enzima α amilasa al 1% actúe en la licuefacción del almidón de yuca al 30% (p/v) son estadísticamente significativos, ya que el valor de probabilidad es menor a 0,05 (criterio estadístico escogido). Sin embargo es necesario llevar a cabo un diseño de optimización para evaluar más rigurosamente cómo se comportan estas interacciones. (Cuadro N°20 y 21).

Cuadro N°20. Análisis de varianza de la relación entre la temperatura de licuefacción con los azúcares reductores en la hidrólisis enzimática del almidón de yuca.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
	2	3	1.5	0.5
60°C	2	14.72	7.36	0.0098
65°C	2	16.07	8.035	0.11045
70°C	2	17.41	8.705	0.06845
75°C	2	15.35	7.675	0.03125

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	68.4367	4	17.109175	118.821967	3.8415E-05	5.19216777
Dentro de los grupos	0.71995	5	0.14399			
Total	69.15665	9				

Criterio estadístico: 95% de confianza

Cuadro N°21. Análisis de varianza de la relación entre la temperatura de licuefacción con el porcentaje de equivalente de dextrosa en la hidrólisis enzimática del almidón de yuca.

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
	2	3	1.5	0.5
60°C	2	40.1	20.05	0.0722
65°C	2	43.78	21.89	0.8192
70°C	2	47.43	23.715	0.51005
75°C	2	41.82	20.91	0.2312

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	663.93016	4	165.98254	389.146227	2.0257E-06	5.19216777
Dentro de los grupos	2.13265	5	0.42653			
Total	666.06281	9				

Criterio estadístico: 95% de confianza

En la hidrólisis enzimática la variación en el pH no es considerable ya que en todas las pruebas realizadas fue similar, dando un rango de pH de 6 a 5 apropiadas para que la enzima α amilasa pueda hidrolizar la cadena de amilosa del almidón de yuca.

Con respecto al rendimiento de jarabes con respecto al contenido de almidón disponible (30% p/v), se observa nuevamente la misma tendencia anterior el mayor rendimiento fue en la temperatura de 70°C seguido por 65°C., sin embargo en las otras temperaturas estudiadas se obtuvieron jarabes a partir de almidón de yuca pero con menores rendimientos.

Los jarabes que obtuvieron de la hidrólisis enzimática de acuerdo a BeMiller J. and R. Whistle (2009) fueron del tipo I que consisten principalmente de segmentos de peso molecular alto y dextrinas lineales. Esta categoría obtenida se explica porque la hidrólisis enzimática fue limitante ya que no tubo valores altos de azúcares reductores y equivalentes de dextrosa como se esperaba, esto es por la poca proporción de amilosa del almidón de yuca (14 a 19 % según Hoover, 2002) y una menor proporción amilosa/amilopectina de 17/83 en la yuca comparada con una mayor proporción 26/74 en el maíz (Harwood P. 1992), y la enzima α amilasa es clasificada como una endoenzima debido a que hidroliza enlaces α 1-4 glucosídicos al azar de la región central de las cadenas de amilosa y amilopectina excepto en las proximidades de los puntos de ramificación (Van Der Maarel, Marc J.E.C. 2002). Estos jarabes pueden utilizarse para impartición de viscosidad (agente engrosante), prevención de cristalización y humectante.

Por este motivo se sugiere también la posibilidad de utilizar otras enzimas como la pululanasa (enzima desramificadora) que se encarga de hidrolizar los enlaces α , 1-6 de la molécula de amilopectina, lo cual generaría un mayor contenido de glucosa, maximizando el contenido total de azúcares. Igualmente el uso de las enzimas amiloglucosidasas que es una exoenzima que hidroliza tanto a los enlaces α 1-4 y α 1-6 y las β -glucanasas, las cuales han sido utilizadas para disminuir la viscosidad y mejora el proceso de filtración en la producción de jarabes de maltosa (Gil Montilla L. D., 2008).

También sería recomendable utilizar mayor concentración de la α amilasa ya que probablemente se encuentren valores superiores en azúcares reductores y % de Equivalente de dextrosa por el aumento en la dosis de la enzima. Además poder comprobar si es posible efectuar una disminución de tiempos de acción de la enzima y de este modo el proceso productivo para la elaboración de jarabe se llevara a cabo en un menor tiempo y por lo tanto disminuirán los costos de producción.

b. DISCUSIÓN DEL COMPARATIVO DE LA HIDRÓLISIS ACIDA Y ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN.

Los parámetros de evaluación más importantes y confiables para evaluar el desarrollo de la hidrólisis del almidón, sea acida o enzimática son el porcentaje de azúcares reductores y porcentaje de equivalentes de dextrosa (ED).

Los resultados obtenidos para los parámetros de porcentaje de azúcares reductores y porcentaje de equivalentes de dextrosa obtenidos fueron considerablemente menores en la hidrólisis acida comparado con la hidrólisis enzimática. (Figura N°17 y 18).

Figura N°17. Comparativo de los jarabes obtenidos de cada proceso de hidrólisis enzimática) aplicado al almidón de yuca en función del porcentaje de azúcares reductores (% Az. Red.).

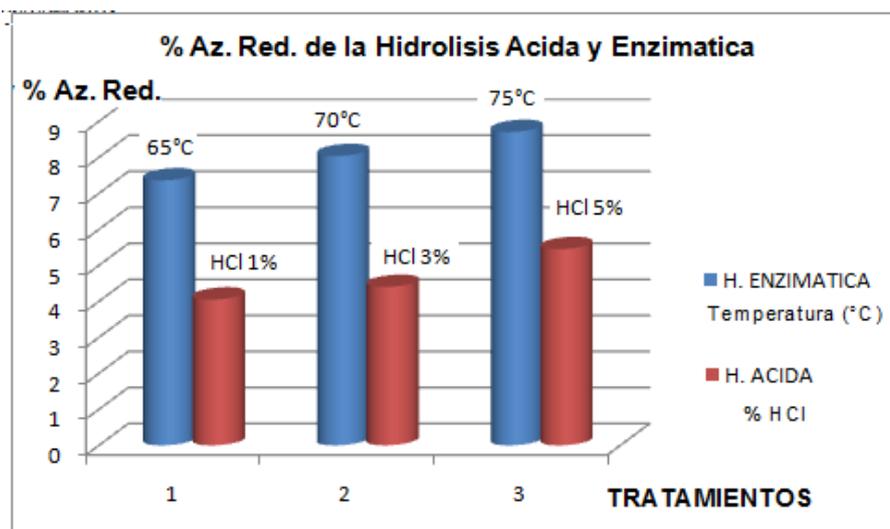
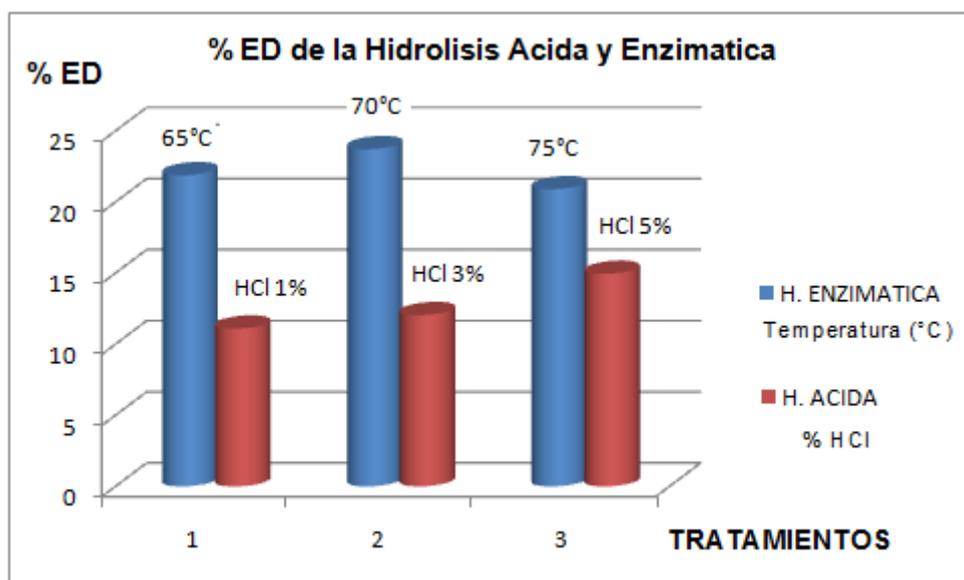


Figura N°18. Comparativo de los jarabes obtenidos de cada proceso de hidrólisis Acida y Enzimática) aplicado al almidón de yuca en función del porcentaje de Equivalente Dextrosa.(% ED).



Los resultados obtenidos tanto en la hidrólisis ácida como enzimática deben corresponderse con un aumento de dicha hidrólisis a lo largo del tiempo. Este aumento fue proporcional.

Se determinó que a mayor porcentaje de HCl, se obtuvo un mejor resultado en la prueba de hidrólisis ácida del almidón al 30% pero en menor proporción que en la hidrólisis enzimática.

Existe diferencia significativa entre el porcentaje de azúcares reductores y porcentaje de equivalente de dextrosa (ED) medida para la hidrólisis ácida y enzimática del almidón de yuca, siendo la hidrólisis enzimática la que tuvo mejores resultados (Cuadro N°22 y 23).

Cuadro N°22. Análisis de varianzade **la relación entre la hidrólisis ácida y enzimática con el porcentaje de azúcares reductores formados a partir del almidón de yuca.**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
t	3	24.1	8.03333333	0.45225833
pH	3	13.9	4.63333333	0.53083333

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad		Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
		de	de				
Entre grupos	17.34	1	17.34	35.2764663	0.00402959	7.70864742	
Dentro de los grupos	1.96618333	4	0.49154583				
Total	19.3061833	5					

0.05

Criterio estadístico: 95% de confianza

Cuadro N°23. Análisis de varianzade **la relación entre la hidrólisis ácida y enzimática con el porcentaje de Equivalente de dextrosa formados a partir del almidón de yuca.**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	3	66.52	22.1733333	2.03423333
Columna 2	3	38.1	12.7	4.0225

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad		Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
		de	de				
Entre grupos	134.616067	1	134.616067	44.4517066	0.00262963	7.70864742	
Dentro de los grupos	12.1134667	4	3.02836667				

Total	146.729533	5
-------	------------	---

0.05

Criterio estadístico: 95% de confianza

La hidrólisis de dispersiones de almidón, tanto con ácidos como con enzimas, produce maltodextrinas. Las maltodextrinas son descritas y clasificadas normalmente de acuerdo con su equivalencia en dextrosa (ED). Las maltodextrinas se definen como productos cuyos valores de ED son medibles, pero inferiores a 20. (Beltrán Mondragón A. D. y L. A. Herreño Téllez, 2010).

6. CONCLUSIONES

- Se pudo aprovechar un recurso nacional que ha sido subutilizado elaborando un jarabe de glucosa a partir de la yuca *Manihotesculenta*.
- Se obtuvieron azúcares reductores de la hidrólisis ácida y enzimática del almidón de yuca.
- Existe diferencia significativa entre el porcentaje de azúcares reductores y porcentaje de equivalente de dextrosa (ED) medida a distintas temperaturas de licuefacción de la enzima α amilasa al 1%, siendo la temperatura de mayor actividad para la hidrólisis enzimática la de 70°C.
- Existe diferencia significativa entre el porcentaje de azúcares reductores y porcentaje de equivalente de dextrosa (ED) medida a distintas concentraciones de ácido clorhídrico para la licuefacción del almidón de yuca al 30% (p/v), siendo la concentración de HCl al 5% la que tuvo mayores rendimientos de estos parámetros para la hidrólisis ácida.
- Existe diferencia significativa entre el porcentaje de azúcares reductores y porcentaje de equivalente de dextrosa (ED) medida para la hidrólisis ácida y enzimática del almidón de yuca, siendo la hidrólisis enzimática la que tuvo mejores resultados.
- Los resultados obtenidos tanto en la hidrólisis ácida como enzimática deben corresponderse con un aumento de dicha hidrólisis a lo largo del tiempo. Este aumento debe ser proporcional.
- Se determinó que a mayor porcentaje de HCl, se obtuvo un mejor resultado en la prueba de hidrólisis ácida del almidón al 30% pero en menor proporción que en la hidrólisis enzimática.
- El ácido causa dextrinización del almidón mediante una hidrólisis al azar de enlaces glucosídicos α 1-4 y α 1-6.
- Al comparar el método enzimático con el ácido en la obtención de jarabe de glucosa, aunque en ambos métodos la hidrólisis del almidón de yuca fue parcial, se observó que se obtuvo más rendimiento en el proceso enzimático que con el método ácido en el que se obtuvo menor porcentaje de azúcares reductores y equivalentes de dextrosa.
- Los jarabes obtenidos de la hidrólisis enzimática fueron menos viscosos reportando una mayor cristalinidad, comparados con los obtenidos de la hidrólisis ácida.
- La relación que existe entre absorbancia y cristalinidad es inversa, es decir a mayor absorbancia, menor cristalinidad y viceversa. La mayor cristalinidad se obtuvo en el proceso de hidrólisis enzimática.
- El uso de la gelatinización como pre-tratamiento térmico, aumentó la accesibilidad al material almidáceo, viéndose esto reflejado en las productividades encontradas por las condiciones óptimas. De esta forma, se lograron establecer las condiciones óptimas para

la producción de jarabe glucosado a partir del almidón de yuca, mediante hidrólisis enzimática y el montaje de un diseño experimental satisfactorio.

- En el proceso ácido el promedio de rendimiento de porcentaje de producción de jarabe en los tratamientos de hidrólisis ácida, fue de 21 % comparado con un 61% en los tratamientos de hidrólisis enzimática.
- En la hidrólisis enzimática se produce un rompimiento parcial de los enlaces que mantienen unido a las unidades del almidón y se formará maltosa, glucosa y dextrina límite que es una cadena ramificada.
- Los jarabes que obtuvieron de la hidrólisis enzimática fueron del tipo I que consisten principalmente de segmentos de peso molecular alto y dextrinas lineales.
- Los jarabes dextrinizados (20-30 ED) no cristalizan y se emplean como agentes espesantes y estabilizadores en un gran número de alimentos. Son la base para la producción industrial de todos los otros jarabes. No tienen dulzura.
- El método usado para realizar la parte experimental de la hidrólisis enzimática sí fue eficiente, pero no lo fue para la hidrólisis ácida. Sin embargo, en ambos tipos de hidrólisis la preparación de soluciones y las cantidades agregadas en las pruebas deben realizarse con sumo cuidado y precisión.
- Del almidón de yuca hidrolizado se obtuvieron productos con valores diferentes de D.E, siendo mucho más solubles que el almidón nativo y con posibilidades de aplicación en la industria de alimentos y farmacéutica.

7. RECOMENDACIONES

1. Para elaborar jarabe de glucosa a partir de almidón de yuca *Manihotesculentase* requiere utilizar raíces tuberosas de yuca fresca previamente seleccionadas descartando aquellas que presentaban daño causado por insectos o presencia de enfermedades para obtener un mayor rendimiento en la extracción del almidón para realizar las pruebas de hidrólisis del mismo.
2. Es muy importante que todas las fases del proceso puedan ser controladas, para que los resultados sean más eficientes en cuanto a la hidrólisis enzimática y acida.
3. El almidón obtenido luego del secado debe guardarse en un ambiente de baja humedad para evitar su alteración y desarrollo de hongos y de preferencia utilizarse en las pruebas dentro de los primeros 15 días de su obtención para asegurar su estabilidad y con un grado Brix inicial de cero que evidencie la presencia de almidón intacto y los resultados de los análisis sean confiables.
4. Es necesaria más investigación sobre la determinación de la mejor relación enzima-sustrato determinada en la hidrólisis enzimática del almidón.
5. Se debe estudiar más sobre los tiempos de hidrólisis más convenientes para la hidrólisis acida y enzimática del almidón.
6. Realizar un estudio que combine el proceso ácido con el de hidrólisis enzimática.
7. Hacer un análisis de los costos de producción de jarabe de glucosa para definir la viabilidad o no del uso de enzimas.
8. Realizar pruebas de aceptación y funcionalidad del producto.
9. Verificar la calidad microbiológica del producto final.
10. Efectuar un refinamiento posterior, en el producto final con el objetivo de clarificar y mejorar las características del jarabe de glucosa.
11. Se deben estudiar más las características de los subproductos del procesamiento de almidón de yuca y determinar si se puede dar algún uso a los mismos.
12. Realizar un estudio con una mayor concentración de enzima α -amilasa comercial para comprobar si es posible efectuar una disminución de tiempos de acción de la misma, de este modo el proceso productivo para la elaboración de jarabe se llevara a cabo en un menor tiempo y por lo tanto disminuirán los costos de producción.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Adetan, D.; Adekoya, L.; Aluko, O. 2003. "Characterization of some properties of cassava root tubers". *Journal of Food Engineering* 59(4), 349-353.
2. AdinarayanaKunamneni, Suren Singh. 2006. "Improved high thermal stability of pullulanase from a newly isolated thermophilic *Bacillus* sp. AN-7". *Enzyme and MicrobialTechnology*. Vol. 39: 1399-1404.
3. Alvis Armando, Carlos A. Vélez., Héctor S. Villada y Maite Rada-Mendoza. 2008. "Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas". *Información Tecnológica*. Vol. 19(1): 19-28.
1. Amaya Robles Julio E., José L. Julca Hashimoto. 2006. "ARRACACHA" *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft. Área Temática: Biodiversidad y Conservación de los Recursos Fitogenéticos Andinos. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Conservación del Medio Ambiente. 15 pp.
2. Ayala Guido. 2004. "Aporte de los cultivos andinos a la nutrición humana". En: *Raíces andinas. Contribuciones al conocimiento y a la capacitación. Aspectos generales y recursos genéticos de las raíces andinas*. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003) (pp. 101-112). N° 6. Universidad Nacional de Cajamarca – Centro Internacional de la Papa - Agencia Suizapara el Desarrollo y la Cooperación. Lima. Perú.
3. Badui, S. 2006. *Química de los Alimentos*. Cuarta Edición. México: Pearson Educación.
4. Baldeon Cerna Miluska Teresa y De la Cruz Torres Fiorella Susana. 2008. "Estudio de factibilidad para industrialización y comercialización de la harina de arracacha". Tesis Ingeniero Industrial. Universidad Ricardo Palma. Lima-Perú.
5. Barrera, C. Tapia & A. Monteros (EDS.). 2004. Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la Conservación y Uso Sostenible en el Ecuador. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos. Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). N°4. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones agropecuarias, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Quito – Lima.
6. Barros Berrones Franz. Sebastián. 2012. "Hidrolisis enzimática del almidón residual en extractos líquidos de camote (*Ipomoea batatas* L.), para elaboración de miel y estudio de

- sus propiedades funcionales“. Tesis Ingeniero Agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional. Quito. Ecuador.
7. Beltrán M. A. y Herreño T. L (2010)
 8. Beltrán Mondragón Astrid Dayana y Lorena Aydeé Herreño Téllez. 2010. “Aplicación de la enzima α Amilasa comercial ban® 480I a la harina de arroz de la variedad Fedearroz 50 para la elaboración de una bebida vegetal”. Tesis. Título de Ingeniera de Alimentos. Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería. Programa Ingeniería de Alimentos. Bogotá D.C. Colombia.
 9. BeMiller James and Roy Whistler. 2009. *Starch Chemistry and Technology*. Third Edition. Food Science and Technology, International Series.
 10. Benalcázar Ruiz, Byron Marcelo. 2006. “Determinación de las características físicas y químicas de la zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) proveniente de la zona de San José de minas, Provincia de Pichincha”. Tesis de grado como requisito para optar por el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Técnica del Norte. Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Escuela de Ingeniería Agroindustrial. Ibarra-Ecuador.
 11. Blas Raul. 2009. Problemática del cultivo y valor agregado de la arracacha. Facultad de Agronomía. Dpto. Fitotecnia. La Molina, 12 enero 2009. http://www.telecentros.pe/img_upload/3ebf28670cc26d6c98d026abe0126c40/Problematica_del_cultivo_de_la_arracha.pdf.
 12. Carrera, Jorge Eliécer. Módulos de Biotecnología, “Enzimas Industriales, Biorreactores, Variables de Control, Guías de Laboratorio y Biotecnología Agrícola y Vegetal”. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad del Cauca. Primer Edición 2002.
 13. Carrera, Jorge Eliécer. 2003. “Producción y aplicación de Enzimas Industriales”. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*. 10 Vol. 1 No.1 Marzo:10-15.
 14. Espín S., E. Villacrés, B. Brito, 2004; Ayala Guido, 2004
 - 15.
 16. Caypo Luna, C. y F. Pérez Azahuanche. 2007. “Dextrinas a partir de almidón de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) por hidrólisis enzimática”. *Revista Oficial de la Universidad Privada Antenor Orrego - Trujillo, Perú. Pueblo cont.* Vol. 18(2): 215-224.
 17. Cortés Gavilanes Ana Lucia. 2004. “Aplicación de Enzimas en la Producción Industrial“. *Mundo Alimentario* (Septiembre/Octubre 2004): 20-23.

18. Cruz Ruiz, Kevin Alonso. 2012. "Modelado del proceso de hidrólisis enzimática de almidones gelatinizados del fruto de la planta de banano". Tesis, Magister en Ingeniería - Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, Escuela de Procesos y Energía Medellín, Colombia.
19. Crueger, W. and A. Crueger. 1993. *Manual de Microbiología Industrial*. Zaragoza, España: Editorial Acribia S.A.
20. Cummings, J. H., &Englyst, H. N. 1995. "Gastrointestinal effects of food carbohydrate". *American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 61: 938S-945S.
21. Chamorro Alba Liliana, Zárate Edgar, José Tirado Lugo. 2009. "Elaboración de productos alimenticios procesados a base de harina y fécula de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) cosechada en Turmeque y Boyaca en el Departamento de Boyaca". Trabajo de Grado como requisito para optar al título de Químico de Alimentos. Modalidad Investigación. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ciencias. Escuela de Ciencias Químicas. Programa de Química de Alimentos. Tunja.
22. Damodara Rao Mendu, B.V.V. Ratnam, A. Purnima, C. Ayyanna. 2005. "Affinity chromatography of α -amylase from *Bacillus licheniformis*". *Enzyme and Microbial Technology*. Vol. 37: 712-717.
23. Decheco Egúsquiza, Alicia Cecilia. 2014. "Obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de yuca *Manihot esculenta* Crantz y estudio comparativo entre los métodos de Hidrólisis ácida y enzimática". Trabajo de Investigación Universidad Le Cordon Bleu. Perú. 99 pp.
24. Dufour, D., Hurtado, J., Wheatley, C. 1996. Characterization of starches from noncereal crops cultivated in tropical América: Comparative analyses of starch behavior under different stress conditions. International Symposium on Cassava Starch and Starch Derivatives. Nanning, China. 23 p.
25. Espín Susana, Elena Villacrés, Beatriz Brito. 2004. "Caracterización físico-química, nutricional y funcional de raíces y tubérculos andinos (Capítulo IV)". En: V.H. Barrera; C.G. Tapia y A.R. Monteros (eds.). *Raíces y tubérculos andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador*. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003), N° 4. INIAP, CIP, COSUDE, Quito, Ecuador-Lima. Pp. 91-116.
26. Fennema O.R. 2000. *Química de los Alimentos*. Zaragoza. España. Segunda Edición. Ed. Acribia.España

27. Gallant, I., A. Bouchet, S. Buleón and S. Pérez. 1992. "Physical characteristics of starch granules and susceptibility to enzymatic degradation". *European Journal Clinical Nutrition*. Vol. 46(1):3-16.
28. García Auris; Emperatriz Pacheco Delahaye; J. Tovar y E. Perez. 2007. "Caracterización fisicoquímica y funcional de las harinas de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) para sopas instantáneas". *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de alimentos. Año/Vol. 5, Núm. 005, 2010, pp. 384-393. México.
29. García Auris y Emperatriz Pacheco Delahaye. 2008. "Caracterización Postcosecha del Apio criollo cultivado en el Municipio Tovar, Estado Mérida – Venezuela". *Agronomía Trop*. 58(4): 409-416.
30. Gil Montilla, Lisbeth Daniela. 2008. "Obtención de jarabe de maltosa a partir del germen de maíz desgrasado". Informe de pasantía para optar al título de Ingeniero Químico Universidad Simón Bolívar. Decanato de Estudios Profesionales. Coordinación de Ingeniería Química Sartenejas. Venezuela.
31. Godfrey T. y Reinchelt J. 1993. *The applications of enzymes in industry*. The Nature Press. USA.
32. González, I. 2002. "Inmovilización de bacterias proteolíticas y amilolíticas provenientes de agua residual y compost de café para el postratamiento de aguas residuales del beneficio húmedo del café". Requisito parcial para optar el título de Microbiólogo Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Bogotá. Colombia.
33. González, Z. y E. Pérez. 2003. "Evaluación fisicoquímica y funcional de almidones de yuca (*Manihote sculenta* Crantz) pregelatinizados y calentados con microondas". *Acta Científica Venezolana*. Vol. 54:127-137.
34. Hongsheng Liu, Fengwei Xie, Long Yu, Ling Chen, Lin Li. 2009. "Thermal processing of starch-based polymers". *Progress in Polymer Science*. Vol. 34: 1348-1368.
35. Hung, P. and N. Morita. 2005. "Physicochemical. properties and enzymatic digestibility of starch from edible canna (*Canna edulis*) grown in Vietnam". *Carbohydrate Polymers*. Vol. 61(3):314-321.
36. Hyun-Jung Chung, Qiang Liu. 2009)
37. Hyun-Jung Chung, Qiang Liu, and Ratnajothi Hoover. 2010. "Effect of single and dual hydrothermal treatments on the crystalline structure, thermal properties, and nutritional fractions of pea, lentil, and navy bean starches". *Food Research International*. Volume 43: 501-508.

38. INDECOPI. NTP 203.OO2-1979. Determinación del contenido de Azúcares reductores. Método de Eynon-Lane.
39. INDECOPI. NTP 203.O70. Determinación de Acidez.
40. INDECOPI. NTP 209.264. 2001. Determinación de Humedad. Método gravimétrico. 1ª Edición.
41. INDECOPI. NTP 209.265. 2001. Determinación de Cenizas. Método gravimétrico. 1ª Edición.
42. INDECOPI. NTP 208.102:2014 CONFITERÍA. Determinación de Azúcares reductores y sacarosa. 1ª Edición.
43. Kim CH, Choi HI, Lee DS. 1993. "Purification and biochemical properties of an alkaline pullulanase from alkalophilic *Bacillus* sp." S-1. *Biosci Biotechnol Biochem*. Vol. Oct; 57(10):1632-7.
44. León-Marrou, María *et. al.* 2011. "Composición química de Oca (*Oxalis tuberosa*), Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y tarwi (*Lupinus mutabilis*). Formulación de una mezcla base para productos alimenticios". Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 2 (2): 239-252. Julio-Diciembre.
45. Luna Imbacuán, William Andrés & Mera Arroyo, Julián Andrés. 2006. "Producción de dextrinas de yuca a partir de almidón nativo en la Rallandería TODOYUCA ubicada en el corregimiento pescador (Municipio de Caldon, Departamento del Cauca)". Tesis, Título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad del Cauca. Ingeniería Agroindustrial Popayán (Cauca). Colombia.
46. Marín Idarraga Diego Alberto, Milena Raquel Alcocer Tocora, Natalia Andrea Salazar Camacho & John Freddy Bernal Silva. 2011. "Calidad de la harina de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) a partir del método de secado por conducción". Revista de Investigación Agraria y Ambiental. RIAA 2 (1): 23-28.
47. Martínez G., J.F. 2005. "Utilización de [alfa]-amilasas en la formulación de detergentes industriales". Tesis de doctorado. Granada: Departamentode Ingeniería Química de la Universidad de Granada. España.
48. Mathews, C.K., K.E. Van Holde y K.G. Ahern. 2004. *Bioquímica*. Tercera Edición. Editorial Pearson. España.
49. Ministerio de Agricultura (MINAG), (2003) Oficina de Información Agraria. Lima - Perú.

50. Montes Horcasitas, Ma. del Carmen & Magaña Plaza, Ignacio. 2002. "Enzimas con aplicación industrial". *Avance y Perspectiva*, Vol. 21 (Septiembre-octubre): 279-282.
51. Noguera, Y.; Pacheco, E. 2000. "Caracterización física, química y sensorial de hojuelas fritas de apio". *Revista Agronomía Tropical* 50(2), 241-252.
52. Palacios Rocío, Mariela Morales y Gladys C. Arias. 2011. "Evaluación químico bromatológica de tres variedades de *Arracacia xanthorrhiza* "arracacha". *Ciencia e investigación*. Vol 14 N°2. (2011).
53. Pedroza, A. 1999. "Producción de amilasa termoestable a partir de *Thermus* sp." Tesis de maestría. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de ciencias. Microbiología Industrial. Bogotá, Colombia.
54. Pingyi Zhang, Roy L. Whistler, James N. BeMiller, Bruce R. Hamaker. 2005. "Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility-a review". *Carbohydrate Polymers*. Vol. 59: 443–458.
55. Pornpong Sutthirak, Saovane Dharmsthiti, Sittiwat Lertsiri. 2005. "Effect of glycation on stability and kinetic parameters of thermostable glucoamylase from *Aspergillus niger*". *Process Biochemistry*. Vol. 40: 2821-2826.
56. Quaglia, G.B. & L. Gennaro. 2003. "Enzymes. Uses in Food Processing". En: *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. Macrae, R., R.K. Robinson, & M.J. Sadler (Eds.). 2125-2139. Academic Press, London.
57. Rodríguez, I., "Obtención y caracterización de material maltosado y proteínas a partir del germen desgrasado de maíz", Trabajo Especial de Grado, Universidad Simón Bolívar. Venezuela. (1999).
58. Rodríguez Borray Gonzalo A Alfredo., Hugo Reirnel García Berna, Jesús H. Camacho Tamayo, Freddy Leonardo Arias Guerrero. Juan Jose R. Vera Varon y Felipe De La Torre Duque. 2003. "La harina de arracacha. *Arracacia xanthorrhiza*. Manual técnico para su elaboración". Editorial Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA. 24 p.
59. Rodríguez Diana, Magali Espitia, Yenith E. Caicedo, Yubely E. Córdoba, Yolima Baena y Claudia E. Mora. 2005. "Caracterización de algunas propiedades fisicoquímicas y farmacotécnicas del almidón de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). *Revista Colombiana de Ciencias Químicas y Farmacéuticas*. 34(2): 140-146.

60. Salas Domínguez Sonia. 2001. "Desarrollo de agroindustrias y mercados para la arracacha". Proyecto CIP/ CONDESAN Lima Perú.
61. Salaverry Oswaldo. 2012. "Alimentos Nativos: Plantas Peruanas. Native Food: Peruvian Plants". Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública. Volumen 29 Número 3 Julio - Septiembre 2012. Lima, Perú. Instituto Nacional de Salud.
62. Sebnem Harsa, Shintaro Furusaki. 2001. "Chromatographic separation of amyloglucosidase from the mixtures of enzymes". *Biochemical Engineering Journal*. Vol. 8: 257-266.
63. Seminario, Juan. 1999. Aspectos socioeconómicos y arte de la arracacha en Sucse (Sócota, Cutervo), departamento de Cajamarca, Perú. CONDESAN-Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú. 3 p.
64. SIEA. Sistema Integrado de Estadística Agraria. 2014. Ministerio de Agricultura y Riego – Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos, Lima – Perú.
65. Soto, K. (2004) "Características del almidón de las variedades amarilla, blanca y morada de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*)", Tesis de Ingeniero en Industrias Alimentarias, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo - Perú.
66. Suckling C. 1990. *Enzyme Chemistry: Impact and applications*. Chapman and Hall. Second Edition. London.
67. Tapia 1997.
68. Tapia Mario E. 2000. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. (2da. ed.). Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. 2000.
69. Teixeira, M. A. V., Ciacco, C. F., Tavares, D. Q., & Bonezzi, A. N. 1998. "Occurrence and characterization of resistant starch from corn and banana starch". *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 18: 246-253. Chemical Abstracts 130: 196031.
70. Van Der Maarel, Marc J.E.C. 2002. "Properties and applications of starch converting enzymes of the α -amylase family". *Journal of Biotechnology*. No 94: 137-155.
71. Wissemann, A. 1995. *Manual de Biotecnología de las Enzimas*. Editorial Acribia. Zaragoza España. 1995.
72. Yufera, Eduardo. 1998. *Química de los alimentos*. Primera Edición. Editorial Síntesis. México.

