



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Evaluación técnico económica de la producción de bioetanol a nivel experimental a partir de almidón de papa en el Departamento de Boyacá

Sonia Patricia Lizarazo Hernández

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Maestría en Ciencias Agrarias
Línea de Investigación Desarrollo Empresarial Agropecuario
Bogotá, Colombia
2013

Evaluación técnico económica de la producción de bioetanol a nivel experimental a partir de almidón de papa en el Departamento de Boyacá

Sonia Patricia Lizarazo Hernández

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magíster en Ciencias Agrarias

Director:

PhD., Germán Gonzalo Hurtado Rodríguez

Codirector:

PhD., Luis Felipe Rodríguez Caicedo

Línea de Investigación:

Desarrollo Empresarial Agropecuario

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Maestría en Ciencias Agrarias
Línea de Investigación Desarrollo Empresarial Agropecuario
Bogotá, Colombia
2013

A mi amado esposo Carlos "Joyita" por su amor, paciencia y apoyo incondicional
A mi padre Pedro que desde el cielo continúa velando por mí
A mi madre Esther por estar siempre ahí en mi vida, con su amor y ternura
incondicional
A mis hijos Manuel Santiago y David Camilo mis regalos del cielo, motivación para
ser cada día mejor
A mis hermanos Gladys y Octavio por su apoyo, su amor, la comprensión y
paciencia
A María Emilia, Arley, Luz Mary todos mis amigos, Dios los llene de muchas
bendiciones!

Agradecimientos

A Dios dueño de la vida, por regalarme la oportunidad de vivir cada día y permitirme el llegar a esta meta, por sus dones de paciencia y persistencia y por mostrarme que donde hay pasión todo se logra.

A mi director de tesis, Dr. German Gonzalo Hurtado Rodríguez, gran amigo, jefe y compañero de trabajo, quien asumió la dirección como un trabajo personal, mi agradecimiento por sus enseñanzas, su acompañamiento y su apoyo decidido.

A mi co-director, Dr. Luis Felipe Rodríguez, por creer en mí, por sus aportes, paciencia, orientación y por su apoyo incondicional.

A mis jurados: Dra. Sonia Aguirre, Dr. Aníbal Herrera y Dr. Juan Carlos Barrientos, mi gratitud por su lectura y dedicación, sus aportes y experiencias transmitidas lograron mejorar mi trabajo y mi vida: Muchas gracias.

A mi gran amiga María Emilia Villarreal de Rojas, por su amistad incondicional, su apoyo, consejo, sus enseñanzas, sus palabras de motivación y por el respaldo ofrecido durante todo este trabajo, nunca dejaste de motivar mis días, sin este apoyo hubiese sido complicado obtener hoy este logro.

Al profesor Oscar Gutiérrez de la UPTC y vinculado al grupo PODER, por sus explicaciones, consejos y apoyo en esta etapa final.

Al doctor Carlos Augusto Joya por sus aportes en la evaluación económica y financiera.

A mis compañeros del grupo IDEAS- UPTC, Diana Rojas, como Joven Investigadora, Profesora Gladys Yaneth Mariño Becerra como directora del grupo por parte de la UPTC, como Auxiliar de Investigación: Johanna Alba , Inelia Medina y Yemina Paola López por su apoyo en el montaje y realización de las pruebas, sus aportes, sus consejos y enseñanzas.

A mis compañeros del grupo Manejo Biológico de Cultivo I.A. MSc Wilson Martínez, I.A. Esp. Susa Larotta, por su confianza y apoyo al grupo IDEAS, y quienes son responsables del Laboratorio del Centro de diagnóstico en sanidad vegetal de la Facultad de Agronomía de la UPTC lugar donde se llevaron a cabo los experimentos y mediciones, respectivamente.

Resumen

Se estudiaron las propiedades fisicoquímicas y morfológicas de seis (6) almidones nativos provenientes de seis (6) variedades de papa, como estudios previos para la selección de variedades promisorias para la obtención de etanol. Previo a las determinaciones, las muestras fueron secadas hasta peso constante. El contenido de cenizas, amilosa, amilopectina y la temperatura de gelatinización muestran diferencias significativas entre las variedades. Igualmente, se observaron diferencias en la forma y tamaño del gránulo.

Los resultados obtenidos muestran una eficiencia del 83% en el proceso de hidrólisis como tratamiento previo al proceso de fermentación. Se determinó que el efecto combinado entre las concentraciones de la enzima α -amilasa y el sustrato presentó significancia estadística; la conversión a azúcares reductores se ve favorecida al utilizar los valores de 0,336 mL/kg sustrato y 42,2 % respectivamente. La concentración de la enzima amiloglucosidasa y el tiempo de sacarificación no presentaron significancia estadística, por lo que se recomienda utilizar 0,34 mL/kg sustrato y un tiempo de 14 h.

En la fermentación alcohólica del sustrato hidrolizado, se evaluó con dos variedades Parda Pastusa y Tuquerreña, se obtuvo un consumo de azúcares reductores de 91 %, la densidad del etanol obtenido fue de 1,014 g/cm³ a 20 °C con una pureza del 94%. La concentración inicial de sólidos para una eficiente gelatinización del almidón de papa se determinó en 42,68% para garantizar la acción del enzima y así producir una licuefacción eficiente. Este proceso mostró en la investigación un consumo de azúcares reductores del 41,6% para el sustrato de la variedad Pardo Pastusa y un 75 % para el sustrato de la variedad Tuquerreña, lo cual tiene efecto directo en la producción de alcohol, donde se alcanza un 8,51% v/v, valor superior al obtenido industrial que corresponde a un rango entre 7 y 8% v/v.

Palabras clave: Papa, almidón, propiedades fisicoquímicas, morfología, hidrólisis, etanol.

Abstract

It was the study of the physicochemical and morphological six native starches from six (6) varieties of potatoes, as previous studies for selecting promising varieties for ethanol production. Prior to the determinations, the samples were dried to constant weight. Ash content, amylose, amylopectin and gelatinization temperature showed significant differences between the varieties. Likewise, differences in the shape and size of the granule.

The results show an efficiency of 83 % in the hydrolysis process as a pretreatment to the fermentation process. It was determined that the combined effect between the concentrations of α -amylase enzyme and the substrate showed statistical significance was converted into reducing sugars is favored by using the values of 0,34 mL / kg sustrato and 42,2 % respectively. The concentration of the enzyme amyloglucosidase and saccharification time showed no statistical significance, so we recommend using 0,34 mL / kg sustrato and a time of 14 h.

In the alcoholic fermentation of the hydrolyzed substrate was evaluated with two varieties and Tuquerreña ,Parda Pastusa, consumption was obtained in 91% reducing sugars, ethanol obtained density was 1,014 g/cm³ at 20 ° C with a purity of 94% . The initial concentration of solids for efficient potato starch gelatinization 42,68% was determined to ensure the action of the enzyme and thus produce an efficient liquefaction. This showed in research consumption of reducing sugars of 41,6 % for the variety Parda substrate Pastusa and 75% for the variety Tuquerreña substrate, which has direct effect in the production of alcohol, which is reached 8,51 % v / v, above the industrial obtained corresponds to a range between 7 and 8 % v / v.

Keywords: Potato, starch, physicochemical, properties, morphology, hydrolysis, ethanol.

Contenido

	Pág.
Resumen y Abstract	VII
Lista de figuras	XI
Lista de tablas	XIII
Lista de símbolos y abreviaturas	XIV
Introducción	1
Objetivos	5
1. Características físicas, químicas, morfológicas de almidones nativos extraídos de seis variedades de papa (<i>Solanum tuberosum</i> l. subespecie <i>andigena</i>)	7
1.1 Estado del arte	7
1.1.1 Manejo del cultivo	8
1.1.2 Funciones de los nutrientes N, P, K en el desarrollo del cultivo de la papa	8
1.1.3 Efecto defertilización, con N, P, K sobre el rendimiento y calidad del producto cosechado	9
1.1.4 Estructura, composicional y propiedades morfológicas de los Almidones	10
1.2 Metodología	14
1.2.1 Extracción de almidón nativo	14
1.2.2 Distribución del ensayo	16
1.2.3 Análisis físico-químico, composicional y propiedades morfológicas de los almidones	17
1.3 Discusión de resultados	18
1.3.1 Extracción del almidón nativo	18
1.3.2 Análisis de las propiedades de composición, propiedades morfológicas y degelatinización y retrogradación del almidón	19
2. Producción de etanol a nivel experimental a partir de almidón de papa empleando variedades Parida Pastusa y Tuquerreña producidas en Boyacá	29
2.1 Estado del arte	29
2.1.1 Proceso de obtención de bioetanol	29
2.1.2 El almidón de papa como sustrato	32
2.2 Hidrólisis del almidón	34
2.2.1 Método químico	34
2.2.2 Método enzimático	35
2.3 Enzima	35
2.3.1 Factores que afectan la velocidad de las reacciones enzimáticas	36
2.3.2 Enzimas que actúan en la hidrólisis del almidón	36
2.4 Fermentación	36
2.4.1 Proceso de fermentación	37
2.4.2 Sistemas de fermentación	37
2.4.3 Microorganismo: levadura	38
2.4.4 Parámetros y condiciones de fermentación	38

2. 5 Metodología	39
2.5.1 Determinación de temperatura de gelatinización del almidón	39
2.5.2 Hidrólisis enzimática del almidón	39
2.5.3 Fermentación	41
2.5.4 Destilación	41
2.5.5 Balance de masa	42
2.6 Discusión de resultados	42
2.6.1 Temperatura de gelatinización del almidón de papa	43
2.6.2 Pretratamiento del almidón	43
2.6.3 Obtención de etanol a partir de la hidrólisis de almidón de papa	50
2.6.4 Balance de amsa	54
3. Evaluación económica mediante sistema ABC aplicado a la producción de bioetanol a partir de almidón de papa a nivel de laboratorio	61
3.1 Sistema de costos por actividad	62
3.2 Asignación de costos a las actividades y al producto final	63
3.3 Productividad	63
3.3.1 Medición de la productividad	64
3.4 Metodología	64
3.5 Discusión de resultados	66
3.5.1 Asignación de los costos de las actividades al producto	66
3.5.2 Productividad	70
4. Conclusiones y recomendaciones	82
4.1 Conclusiones	82
4.2 Recomendaciones	83
A. Anexo: Ficha técnica de las enzimas α -amilasa	85
B. Anexo:Ficha técnica de la enzima glucoamilasa	87
C. Anexo: Ficha técnica del jarabe de glucosa	88
D. Anexo: Identificación de actividades para el establecimiento de costos de producción de etanol a nivel experimental	89
E. Anexo: Análisis estadístico. Valores de extracción de almidón para las diferentes Variedades de papa analizadas	90
F. Anexo:Análisis estadístico. Porcentaje (%) de amilosa presente en el almidón para las diferentes variedades papa analizadas	91
G. Anexo: Análisis estadísticos. Porcentaje (%) de amilopectina presente en el almidón para las diferentes variedades papa analizadas	92
H.Anexo:Análisis estadístico. Composición del almidón nativo para las diferentes variedades papa analizadas	93
I. Anexo: Seguimiento proceso de fermentación	87
J. Anexo: Cálculo del punto de equilibrio	97
Bibliografía	99

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1.1. Molécula de amilosa	11
Figura 1.2. Molécula de amilopectina	12
Figura 1.3. Unidades estructurales básicas de amilosa y la amilopectina	13
Figura 1.4. Diagrama de flujo para la obtención de almidón de papa	16
Figura 1.5. Morfología del granulo de almidón nativo de la variedad Diacol Capiro, ICA Única. Técnica microscopía óptica de alta resolución 500x	22
Figura 1.6. Morfología del granulo de almidón nativo de las variedades ICA Puracé y Tuquerreña. Técnica microscopia de barrido a 500X	22
Figura 1.7. Morfología del granulo de almidón nativo de las variedades Parda Pastusa y Merengo o Marenga. Técnica microscopia de barrido a 500X	23
Figura 1.8. Morfología de los gránulos de almidón nativo de papa variedad Diacol Capiro. Técnica de microscopia de luz Polarizada 40X	24
Figura 1.9. Morfología de los gránulos de almidón nativo de papa variedad de ICA Única. Técnica de microscopia de Luz Polarizada 40X	24
Figura 1.10. Morfología de los gránulos de almidón nativo de papa variedad de ICA Purace. Técnica de microscopia de luz polarizada 40X	25
Figura 1.11. Morfología de los gránulos de almidón nativo de papa variedad Tuquerreña. Técnica de microscopia de luz polarizada 40X	25
Figura 1.12. Morfología de los gránulos de almidón nativo papa variedad Parda Pastusa. Técnica de microscopia de luz polarizada 40X	26
Figura 1.13. Morfología de los gránulos de almidón nativo de papa del Clon Merengoo Marengo. Técnica de microscopia de luz polarizada 40X	26
Figura 2.1. Obtención de etanol a partir de materias primas amiláceas y Otras fuentes modificada por el autor	32
Figura 2.2. Estructura química de la amilopectina	33
Figura 2.3. Estructura química de la amilosa	33
Figura 2.4. Diagrama de flujo del proceso de obtención de etanol a partir de Almidón de papa a nivel de laboratorio	42
Figura 2.5. Solución de almidón de papa pre gelatinizado	43
Figura 2.6. Almidón de papa hidrolizado	44
Figura 2.7. Acción de la α -amilasa sobre el almidón en la licuefacción	44
Figura 2.8. Acción inicial de la α -amilasa sobre las cadenas ramificadas de la molécula de almidón	45
Figura 2.9. Licuefacción del almidón proveniente de la variedad Parda Pastusa. Acción de la enzima α -amilasa	45
Figura 2.10. Licuefacción del almidón proveniente de la variedad Tuquerreña acción de la enzima α -amilasa	46
Figura 2.11. Sacarificación de la variedad Parda Pastusa: acción de la Enzima glucoamilasa sobre el almidón	47

Figura 2.12. Sacarificación del almidón proveniente de la variedad Tuquerreña acción de la enzima glucoamilasa	47
Figura 2.13. Jarabe de glucosa obtenido a partir de almidón de Papa	49
Figura 2.14. Hidrolizado de almidón de papa para la obtención del almidón	51
Figura 2.15. Concentración en el mosto. Variación de azúcares reductores en El tiempo	51
Figura 2.16. Concentración del mosto (g/L). Variación de la concentración de Etanol obtenido en el tiempo	52
Figura 2.17. Montaje del sistema de destilación	53
Figura 2.18. Curva de calibración del etanol	53
Figura 2.19. Balance de masa: base de cálculo 1000 kg/ lote	55
Figura 3.1. Comportamiento de los costos totales, variables y fijos en la producción del etanol a nivel experimental	68
Figura 3.2. Comportamiento de los costos medios de la producción del etanol a nivel experimental	69
Figura 3.3. Comportamiento del costo marginal de a corto plazo de la producción del etanol a nivel experimental	69
Figura 3.4. Comportamiento del costo medio y marginal a corto plazo de la producción del etanol a nivel experimental	70

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1.1. Composición química de almidones de diferentes fuentes	10
Tabla 1.2. Características de algunos almidones comunes	12
Tabla 1.3. Temperatura de gelatinización de almidón proveniente de diferentes Fuentes vegetales	14
Tabla 1.4. Variedades y procedencia de la papa (<i>Solanum tuberosum L.</i>)	15
Tabla 1.5. Promedios, intervalos, desviación estándar y coeficientes de variación en estudio del almidón extraído de las cinco variedades de papa	18
Tabla 1.6. Análisis proximal en almidones nativos de papa.	19
Tabla 1.7. Contenido de amilosa y amilopectina en el almidón de tubérculos	21
Tabla 1.8. Temperatura de gelatinización para el almidón de papa proveniente de las diferentes variedades	27
Tabla 2.1. Disponibilidad de cultivos existentes y productividad	30
Tabla 2.2. Caracterización del jarabe de glucosa obtenido a partir de variedades seleccionadas: Parda Pastusa y Tuquerreña	49
Tabla 2.3. Caracterización del etanol obtenido a partir de almidón de papa	53
Tabla 3.1. Definición de actividades sistema ABC. Estado de costos y Resultados para un litro de etanol producción a escala de laboratorio	66
Tabla 3.2. Costos para la toma de decisión. Análisis del comportamiento de los costos en la producción etanol a nivel experimental	67
Tabla 3.3. Rendimiento de la materia prima en la producción de etanol a partir del almidón de papa	71

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolo	Término	Unidades
mol/L	Concentración en moles por litro de solución	mol/L
N	Concentración en normalidad	N
L/h	Flujo en litros por hora	L/h
v/v	Porcentaje volumen – volumen	%
°Brix	Sólidos Solubles	%
g/L	Relación entre gramos por litros de solución	g/L
kg/mL	Relación entre kilogramos por mililitros de solución	kg/mL
mL/L	Relación mililitros por litros de solución	mL/L
p/p	Porcentaje peso - peso	%
Ha	Hectárea	m ²
HR	Humedad relativa	%
mL	Mililitro	mL
μL	Microlitro	μL
T	Temperatura	°C
Tm	Tonelada	kg
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar	m.s.n.m

Introducción

La papa es el alimento más importante en el mundo (Devaux, 2010). Este ha presentado en los últimos años una fuerte expansión a nivel mundial. Se ubica como el cuarto alimento básico en la década de los noventa, superado únicamente por el trigo, maíz y arroz (Rodríguez & Ramirez, 2011; Espinel, Martínez, & Pinzón, 2005; Bigio, 2007). La papa cada vez tiene un mayor crecimiento, en el 2007 alcanzó un record de 325 millones de toneladas (Año internacional de la papa FAO., 2008), se cultiva en casi todos los países y su producción – así como su consumo – está incrementándose en los países en vías de desarrollo. Este producto es una valiosa herramienta en la lucha contra el hambre y la pobreza, que es una de las razones por lo que la ONU declaró el 2008 como Año Internacional de la Papa (AIP). Este evento atrajo la atención hacia el papel crucial que la “humilde papa” tiene en la agricultura, la economía y la seguridad alimentaria del mundo (Devaux, 2010).

La gran importancia económica de la papa se basa en su elevada capacidad de producción de sustancias alimenticias por unidad de superficie, tres veces más que los cereales. En la economía de Colombia juega un rol muy importante, hace parte del sistema de alimentos ya que conforma la canasta familiar y de seguridad alimentaria (Espinel, Martínez, & Pinzón, 2005; Moreno J D., 1999; Moreno, Cerón, Zapata, & Peña, 2006), se produce en diferentes departamentos en Colombia. Según cifras, la Federación Colombiana de Productores de Papa FEDEPAPA (Federación Colombiana de Productores de papa, 2010), consideró que “aproximadamente el 90% de la producción comercial de papa se concentra en los departamentos de Cundinamarca (35%), Boyacá (30%), Nariño (15%) y Antioquia (10%). El porcentaje restante (10%), se distribuye en las zonas de Caldas, Tolima, Santanderes y otras zonas de menor importancia.”

La dinámica de la economía en la producción y circulación de alimentos entorno a la papa, se entiende desde la perspectiva de un enfoque sistémico, que explica las articulaciones e interdependencias productivas y tecnológicas y las asimetrías económicas que se presentan entre los actores que la conforman (Bisang & Gutman, 2005). Para ello, las diversas investigaciones, han identificado la relación entre los diferentes subsistemas que hacen parte de la cadena, su relación, por ejemplo, con la sanidad e inocuidad del producto; a la vez que su manejo y la relación directa con la capacidad empresarial, la permanencia y el crecimiento de estas empresas (Rodríguez, Rivera, & Olmeda, 1990).

Dentro de este contexto, se identifican que estas empresas pertenecen al subsistema agrario y las empresas agroindustriales y las comerciales de alimentos están ubicadas en los subsistemas de industria alimentaria y de distribución, respectivamente. Las agroempresas forman hoy parte de un sector más amplio, el sector agroalimentario y se extiende de modo continuo por los tres sectores de la economía, primario, secundario y

terciario. (Rodríguez, Rivera, & Olmeda, 1990). Las relaciones económicas que se desarrollan en las cadenas generan una estructura jerárquica de empresas (Bisang & Gutman, 2005).

Por otro lado, la investigación en la gestión de las empresas agrícolas no se limita a la producción del bien demandado a cierto precio, sino que va más allá, al buscar nuevas estrategias de inversión y aprovechamiento de los bienes producidos, de tal manera que éstos incrementen su valor al transformarlo o manipularlo de acuerdo con las condiciones imperantes del mercado (Solleiro J., 1996). Este panorama permite identificar las cuatro grandes tendencias en el comercio mundial de la papa: mayor dinamismo en el sector, mayor participación de los países en desarrollo, mayor diversificación de la oferta y la demanda y mayor rentabilidad del cultivo como rubro comercial (Scott, 1997).

En general, la menor participación del valor agregado de los productos industriales elaborados con base en la papa, muestra el bajo grado de procesamiento industrial necesario para transformar, empacar y conservar este tipo de productos y la alta proporción de materia prima que conllevan en sí los bienes finales, justamente la búsqueda y acceso a los mercados externos cobra mayor importancia para productos que se alejan de los *commodities* o productos básicos tradicionales (Cardona, Álvarez, & Sáenz, 2010).

La tendencia de la demanda muestra un fuerte incremento del consumo de papa procesada, debido a factores de orden socio-económico, cultural, estratégico y tecnológico, así como mayores posibilidades de diferenciación de productos derivados, frente a un relativo estancamiento de la papa fresca (Rodríguez M., 2004).

Colombia, presenta una amplia gama de sistemas agroecológicos y de sistemas de producción; la producción comercial de papa está localizada entre los 2000 y 3500 m.s.n.m, con una zona óptima de producción entre 2500 y 3000 m.s.n.m (Osorio, Gutierrez, & Marín, 2012). De igual manera en el país existen más de 35 variedades de papa, pero tan sólo 10 de ellas cuentan con importancia comercial (Villareal H. J; Porras P.D; Santa A; Lagoeyte, J; Muñoz, D., 2007). La variedad denominada Parda Pastusa es la más cultivada y la que se consume en mayor cantidad, básicamente en estado fresco, (Moreno J D., 1999). Otras variedades de importancia comercial son Diaco I Capiro (también conocida como R12 negra), se utiliza como materia prima para la industria, para el consumo en fresco y la exportación, la ICA Puracé, utilizada preferentemente en algunas regiones del país (climas templado y cálido) para consumo en fresco, la Tuquerreña o Sabanera, consumida principalmente en Bogotá y la papa criolla (*Solanum phureja*) variedad Yema de Huevo (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR, 2006). De igual manera, se encuentran variedades que se producen en los diferentes pisos térmicos y otras no reportadas, las cuales no tienen un mercado determinado, tal es el caso de aquellas que han sido puestas al servicio de los productores por parte de CORPOICA, como variedades promisorias de producción entre ellas se tiene Betina, Punto azul, Rubí y Esmeralda (Lizarazo, S; Villarreal de Rojas, M; Joya, C, 2011).

Dentro de los esfuerzos que realizan diferentes instituciones de investigación alrededor del cultivo de la papa, se encuentra el libro "Variedades Colombianas de papa" (Ñustez, C.E., 2011; Thiele, Hareau, Suárez, Chujoy, Bonierbale, & Maldonado, 2008) en suelo y manejo de fertilización (Palacios, 2008), en manejo de plagas y enfermedades y fitomejoramiento algunas referencias son las publicadas por Corpoica (Herrera, C.A; Fierro, L.H; Moreno, J.D, 2000; Rodríguez L., 2010) manejo de cosecha y poscosecha

(Buitrago G., 2004), así como desarrollo rural y empresarial (Murcia, 2010), (Molina, 2010).

De acuerdo a lo anterior, si bien es cierto hay grandes avances en los temas que se refieren a la producción primaria, también es necesario reconocer que estos procesos no han contribuido a desarrollar de manera significativa y competitiva la cadena de la papa (Martínez, 2006), dado que aún perdura el problema de la calidad de la papa cultivada, la persistencia de un abastecimiento irregular de productos, la fluctuación cambiante de precio debido a la estacionalidad del producto, clara falta de normas de calidad, grandes pérdidas durante el proceso de intercambio comercial, deficiente uso de empaques adecuados, falta de crecimiento del sector agrícola frente a los otros sectores y bajos ingresos de los productores, lo cual contribuye al déficit para atender los posibles mercados, elevando el costo de su uso en el sector industrial, restándole aptitud para la industria de procesamiento, lo cual trae como consecuencia el bajo desarrollo integral de la cadena. De igual manera, no se aprovecha la diversidad de variedades y sus posibles usos, puesto que sólo se ha identificado los precocidos y las hojuelas como alternativa industrial (Rodríguez & Bermúdez, 1990; Restrepo, 2002; División de comercio y de mercados de la FAO, 2008; Federación Colombiana de Productores de papa, 2010).

En concordancia con lo anteriormente señalado, sobre el problema de la industria del procesamiento de la papa en Colombia, debe reafirmarse que la papa cumple un particular papel por su gran valor nutritivo, versatilidad agroindustrial entre otros aspectos como factores que no han sido objeto de la atención que merecen de los gobiernos (Año Internacional de la papa., 2008). No obstante, se observa una creciente participación de la industria procesadora es así que la moderna industria en el mundo es capaz de extraer hasta un 96% del almidón que contiene la papa cruda (Zhao & Wistler, 1994; FAO, 2001).

En Colombia, a pesar de la diversidad de variedades de papa que existen no se ha definido cuales pudieran ser aptas para la industria que permitan extraer un porcentaje aceptable de almidón, que sea una alternativa importante para los productores de este tubérculo en el país. Se reconoce que existen mercados que requieren de otros productos dado que el volumen exportado de harina, fécula, sémola, copos, gránulos y pellets de papa, es muy bajo y la agroindustria del país no ha incursionado satisfactoriamente en este nicho de mercado (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2010; Proexport, 2008). Así mismo, se desconoce la implicación económica agroindustrial en la producción de diversidad de variedades, las cuales no responden a su relación directa con las propiedades funcionales de las variedades, ni hace parte de los conocimientos de los productores afectando las condiciones de compra-venta. Situación está que juega un factor determinante en la negociación (Callejas & Orduñez, 2007).

Dentro de la producción de sustancias de uso en alimentos e industrial, el etanol es uno de los alcoholes de más fácil adquisición y de uso más frecuente (Wingrove & Caret, 1981). Es así que se usa, como disolvente químico y como base para la elaboración de las bebidas alcohólicas. Sin embargo, la industria licorera en los 10 años ha presentado serios problemas debido al costo de producción, dado el precio de importación del principal insumo para la producción de licor (aguardiente) en el país (alcohol), siendo poco competitivo debido al monopolio departamental sobre este insumo, repercutiendo

en la industria licorera. Lo cual, se evidencia con el cierre de ocho licoreras departamentales en los dos últimos años (Zuleta J. L. A.; Jaramillo G. L.; 2000)

El etanol se puede obtener a través de dos procesos completamente distintos: 1) por síntesis, y 2) por fermentación. Para usos industriales se prefiere el primer sistema, debido a la pureza, que puede alcanzar valores de 99,9%. Para otros usos (alimentación, perfumería, farmacia) tiene más ventajas el segundo (Scragg, 1999).

El bioetanol, también llamado etanol de biomasa, es producido mediante la acción de microorganismos (Hernández, 2007), donde el almidón de los cultivos ricos en él, (especialmente el maíz), son convertidos en azúcares y estos a su vez, fermentados y convertidos en etanol. Por último el etanol es destilado, adquiriendo su forma final. Es así, que se reportan estudios de investigaciones realizadas, sobre la producción de etanol, obtenido a partir de azúcares, almidones o material celulósico, estos estudios surgen como una alternativa para la producción de etanol al ser usado como sustituto tanto para el reemplazo de un porcentaje de gasolina como en otras industrias (Cardona & Sánchez, 2007; Sánchez & Cardona, 2008).

De manera análoga, se han adelantado diversas investigaciones sobre las condiciones de los procesos para la obtención de alcohol por fermentación, las cuales dependen de la naturaleza de la materia prima que se emplee. Las materias primas amiláceas y lignocelulósicas deben ser hidrolizadas a azúcares fermentables antes de que actúen sobre ellas las levaduras (Taherzadeh & Karimi, 2007; Gregg & Saddler, 1995). La obtención de azúcares fermentables a partir de fuentes amiláceas como en el caso del almidón, se debe someter a un proceso previo de hidrólisis (licuefacción y sacarificación) con el objetivo de generar la conversión hidrolítica de los polímeros del almidón en azúcares para luego transformarlo en etanol (Ruíz & Vásquez, 2001). Así mismo, se viene investigando nuevas fuentes de materia prima, para la producción de alcohol que sean rentables y competitivas frente a las tradicionales como la melaza, granos y derivados del petróleo (García, Quintero, & López, *Biología Alimentaria*, 1993; Osman & Ingrgam, 1985).

En la actualidad se trabaja fundamentalmente en la búsqueda de materias primas baratas, que sustituyan a las tradicionales materias azucaradas, para alcanzar mayor eficiencia en los procesos de fermentación, recuperación y purificación de alcohol (Hernández, 2007; García, Quintero, & López, *Biología Alimentaria*, 1993; Osman & Ingrgam, 1985). Sin embargo, no existen estudios en los que se realice la evaluación técnica y económica a nivel experimental de la producción de etanol a partir de almidón de papa, como alternativa agroindustrial. Por esta razón, a partir de este trabajo se espera avanzar en el conocimiento sobre las características físicas, químicas, morfológicas del almidón proveniente de las variedades producidas en Boyacá, el uso del almidón en el proceso de obtención de la producción de bioetanol y los costos a nivel de laboratorio.

Objetivos

Objetivo general

Realizar la evaluación técnica y económica de la producción de bioetanol a nivel experimental a partir de seis (6) variedades de almidón de papa producidas en el Departamento de Boyacá.

Objetivos específicos

- Identificar las variedades de papa que contengan el mayor porcentaje de contenido de almidón, que servirá como fuente de sustrato para la formulación del medio de cultivo para la producción de biomasa.
- Desarrollar los procesos de pre-tratamientos para la hidrólisis del almidón de papa con el fin de obtener la mayor concentración de glucosa.
- Realizar evaluación económica de la producción de bioetanol a nivel experimental.

1. Características físicas, químicas, morfológicas de almidones nativos extraídos de seis variedades de papa (*Solanum tuberosum* L. subespecie *andígena*)

En Boyacá existen regiones donde se cultivan variedades de papa (*Solanum tuberosum*), que poseen variabilidad de tamaño, densidad, así como composición química. Estas variables si bien están definidas por el factor genético, también dependen de las prácticas de cultivo, condiciones climáticas y tipo de suelo. Las características físicas de la papa, tienen relación con aspectos de producción y rendimiento, mientras que su composición química y la morfología de los gránulos de almidón, ayudan a definir la calidad nutritiva y su uso y aprovechamiento agroindustrial.

Se caracterizó la composición química y las propiedades físicas del almidón proveniente de cinco variedades de papa cultivadas en Boyacá, así mismo se realizó un análisis morfológico de estos almidones, a fin de encontrar diferencias significativas. Para lograr este objetivo, se evaluaron los siguientes parámetros: rendimiento, composición proximal, contenido de amilosa, amilopectina y temperatura de gelatinización. De igual manera, se empleó la técnica de microscopia de barrido, para detectar cambios estructurales en los gránulos del almidón.

1.1 Estado del arte

El cultivo de papa en Colombia, es uno de los cultivos transitorios de mayor importancia, ya que es un producto de carácter anual, bianual y plurianual, en donde sus sistemas de producción, son variados. Al respecto Luján (1994) afirman que la papa es una planta originaria de los Andes suramericanos, cuya producción comercial en Colombia se concentra en paisajes y ecosistemas de montaña de clima frío, entre los 2.000 y 3.500 m.s.n.m., mientras que alturas inferiores o superiores a dichas cotas se consideran marginales para el cultivo. La zona óptima de producción para las variedades *Solanum tuberosum* ssp., andígena (papa de año) y *Solanum phureja* (papa criolla) oscila entre los 2.500 y 3.000 m.s.n.m., factor que limita el desarrollo de otras actividades productivas, especialmente en cotas altitudinales superiores a 3.000 m.s.n.m. (Lujan, 1994; Moreno J D., 1999).

La producción de papa se realiza bajo diferentes esquemas de cultivo, según la tenencia de tierra, principalmente en sistemas de arrendamiento y aparcería, así como en cultivos establecidos en tierra propia. Así mismo, se presenta una movilización en las zonas productoras de papa en la región de Boyacá, como consecuencia de la imposibilidad de realizar siembras permanentes en un mismo

predio, debido al riesgo de incidencia de plagas y enfermedades, como a la disponibilidad de tierras para desarrollar esta actividad (Porrás, P.; López, G.Y., 2004).

El cultivo, en la mayoría de casos, se desarrolla bajo el esquema de economía campesina, por parte de agricultores con un bajo nivel de escolaridad que trabajan en predios de minifundio y quienes destinan la mayor parte de la producción al autoconsumo y un pequeño porcentaje a la comercialización (Callejas & Orduñez, 2007). Además, en el sistema productivo de papa, predomina la tecnología tradicional en cerca de 90% de los predios caracterizados por un uso intensivo de fertilizantes, plaguicidas, maquinaria y, en general, dirigidos a asegurar altos rendimientos de los cultivos, sin considerar el uso racional de los recursos naturales y la sostenibilidad del medio ambiente, lo cual no garantiza en todos los casos que se pueda comercializar el producto con fines industriales; no obstante, tan sólo el 10% de los productores de la región adelanta el cultivo y sus actividades complementarias, con tecnología más avanzada (Porrás, P.; López, G.Y., 2004; Año Internacional de la papa., 2008).

1.1.1 Manejo del cultivo

Con relación al manejo del cultivo de la papa, este está condicionado por factores externos que repercuten sobre él, desde el inicio de la tuberización hasta su cosecha y conservación (Moreno J D., 1999; Ñustez, C.E., 2011). Entre estos se destacan el suelo, la temperatura, la luz y la humedad. Estos influyen notablemente en los rendimientos de la planta (Ñustez, C.E., 2011). De otra parte, la papa se adapta a una amplia gama de suelos, sin embargo la textura se convierte en el principal factor a considerar (Cáceres, 1991).

Otro aspecto relevante en el manejo del cultivo, es la temperatura la cual tiene una influencia marcada sobre el desarrollo del follaje y los tubérculos. El efecto del aumento de la temperatura puede variar desde un incremento hasta un decrecimiento marcado del rendimiento y el contenido de materia seca de los tubérculos, aspecto que se refleja en el valor del contenido de almidón y por ende en el porcentaje de azúcares reductores y no reductores (Ortiz & Hernández, 1985).

1.1.2 Funciones de los nutrientes N, P, K en el desarrollo del cultivo de la papa

Funciones de los nutrientes N, P, K en el desarrollo del cultivo papa, son de gran importancia, donde el nitrógeno es el elemento más importante en la formación de albúminas vegetales y en la generación de grandes áreas fotosintéticas (tallos y hojas), favorece el desarrollo foliar del cultivo de la papa, lográndose con ello aumentar la superficie de fotosíntesis, que al final conlleva a la producción de almidón. Así mismo, desempeña un papel rector en la traslocación del almidón desde las hojas hacia los tubérculos. Influye de forma significativa en el rendimiento, la altura de la planta, número de tubérculos por área, contenido de proteínas y en el contenido de materia seca (Biemon & Vos, 1992).

El fósforo es un elemento integrante de numerosos componentes de la papa. Participa activamente en el metabolismo de los hidratos de carbono, formación de clorofila para el proceso fotosintético y en casi todos los procesos metabólicos y energéticos. Así mismo, este elemento favorece el efecto positivo en la formación de tubérculos, contenido de almidón, vitamina C y disminución de daños mecánicos.

También se ha demostrado que este elemento participa en la reproducción y transferencia de propiedades hereditarias. Además, el fósforo influye directamente en la calidad de la fécula, particularidad que es muy importante cuando el cultivo va a ser destinado para la industria (Cáceres, 1991; Lorenzo, 1993).

El potasio, es un elemento que influye sobre la asimilación de sustancias, la fotosíntesis, el régimen hídrico y la síntesis de hidratos de carbono, grasa y albúminas. Propicia la transportación de hidratos de carbono de las hojas hacia los tubérculos. Tiene un papel decisivo en la síntesis de azúcares y de almidón. La respuesta al potasio va a depender en gran medida del nivel de abastecimiento que posea el suelo (Roberts, 1997).

1.1.3 Efecto de la fertilización, con N, P, K sobre el rendimiento y calidad del producto cosechado

El efecto de la fertilización, con N, P, K sobre el rendimiento y calidad del producto cosechado, es relevante, en donde la calidad de la papa está dada por la apariencia externa y por sus características químicas, las que determinan su calidad culinaria y están influenciadas por las condiciones ambientales y el manejo agronómico (temperatura presente durante el ciclo de crecimiento de la planta, plantación y cantidad de riego usado, tipo de suelo, fertilización química empleada y especialmente madurez del tubérculo). La calidad culinaria la da la textura, el color y el sabor (Van deer Zaag, 1975).

Otro aspecto que hace parte de la calidad de la papa es el color y el sabor, el cual está determinado por el tipo de variedad, pero la textura está fuertemente relacionada con el contenido de materia seca del tubérculo y es medida a través de la gravedad específica y del porcentaje de almidón del mismo, el contenido de materia seca puede estar entre 15 % y 25 % (Cáceres, 1991).

En la movilización del almidón el N es un elemento importante, por lo que debe ser aplicado a la planta en una relación adecuada con junto con el P y el K (Lorenzo, 1993); también algunos autores reportan, que la fertilización nitrogenada puede disminuir el contenido de almidón solo cuando se aplica en dosis altas de N frente a una reducida fertilización. Dosis demasiado altas de nitrógeno reducen la calidad de la papa. De igual manera, se plantea que disminuyendo el contenido de N y aumentando P y K, mejora la calidad de la papa (Alonso, 2000). El porcentaje de almidón en la papa puede variar entre 9 % y 35%, pero el promedio es de 19.5 % (Moreno M. J., 1996).

Hay que distinguir entre la calidad interna y externa en la papa para la elaboración de los productos de mayor consumo. Ambos factores van a tener una influencia decisiva en la capacidad de elaboración de un producto y en la economía de la producción.

La calidad externa de la papa viene determinada por el tipo de variedad y por las influencias del ambiente. Principalmente, estas características se ven influenciadas por las condiciones ambientales: verdeamiento del tubérculo (color verde de la piel), tubérculos deformados, deterioro, agujeros y corazón hueco de los tubérculos, pudriciones y rajaduras por sequía. Las características influidas por la variedad entre otras son: profundidad de los ojos, color de la piel y carne, forma y tamaño del tubérculo y producción. Otro factor importante en la calidad externa es la clasificación

de tubérculos en función del producto que se vaya elaborar con la papa (Moreno, Cerón, Zapata, & Peña, 2006).

La calidad interna está determinada por la composición química de la papa, que es uno de los factores más utilizados para la clasificación y compra de variedades para la elaboración de diferentes productos de papa (Moreno, Cerón, Zapata, & Peña, 2006).

1.1.4 Estructura, composicional y propiedades morfológicas de los almidones

El almidón posee diversas aplicaciones, constituye una excelente materia prima para modificar la textura muchos productos alimentos procesados. Así mismo, muchas investigaciones se han realizado en la última década, lo cual se traduce en las numeras aplicaciones no alimentarias. Es así, por ejemplo, se emplea como refuerzo de telas, como adhesivo y aglutinante, como agente de apresto (pulido, brillo y firmeza) en la industria textil y de curtiembre, como sustrato de fermentación, entre otros. Dentro de los avances de investigación, se reporta el uso de “sustitutos” de grasa, bajo en calorías, materiales termoplásticos y biodegradables. No obstante, muchos de estos usos, tanto en la industria de alimentos como en otras, dependen de las propiedades coloides de sus dos componentes :amilosa y amilopectina, las cuales se comportan como un constituyente molecular relacionada con la diversidad de tamaño, su estructura y la función que se pretenda dar (Costas, 2009; Espín, Villacrés, & Brito, 2003)(Wang & White, 1994).

De otra parte, se identifica que los componentes más significativos para la industria de procesamiento en la industria de la papa, son los altos contenidos de almidón y materia seca, los cuales se relacionan e influyen directamente en la calidad y clasificación de variedades para diferentes procesos industriales como glucosa, fructosa y sacarosa, siendo azúcares importantes y los que se encuentran en mayor cantidad en la carne del tubérculo.(Singh, Kaur, Singh, & Singh-Sekhon, 2005). En la siguiente Tabla 1.1 se muestran los componentes más significativos de los almidones de diferentes fuentes.

Tabla1.1. Composición química de almidones de diferentes fuentes.(Loyala, Oyarce, & Acuna, 2010)^a(Woolfe, 1987)^b.

Origen botánico	Carbohidratos	Proteína	Cenizas	Humedad	Amilosa	Grasa	Referencia
Cebada ^a	-	0.1	0.15	-	36.1	0.7	Swinkels,1985
Maíz ^a	-	0.48	0.10	11.8	25	0.75	Swinkels,19985
Arroz ^a	-	-	0.002	9.8	-	0.09	Bello-Pérez et al., 2000
Papa ^b	16.9	0.5 – 1	1.0	80	-	0.1	Wollfe, 1987

(-) No reporta.

El almidón es un carbohidrato de reserva presente en grandes cantidades en raíces y tubérculos, cereales, semillas y leguminosas, bajo la forma de gránulos parcialmente

cristalinos, cuya forma y tamaño varía según el origen botánico (Garcia & Walter, 1999). En las raíces y tubérculos, tales como yuca, batata, papa, ñame y apio, representa un 60 a 90% del peso seco (Bello-Pérez, Sánchez, Moreno, & Toro, 2002; Jayakody, Hoover, Liu Q, & Toro, 2005).

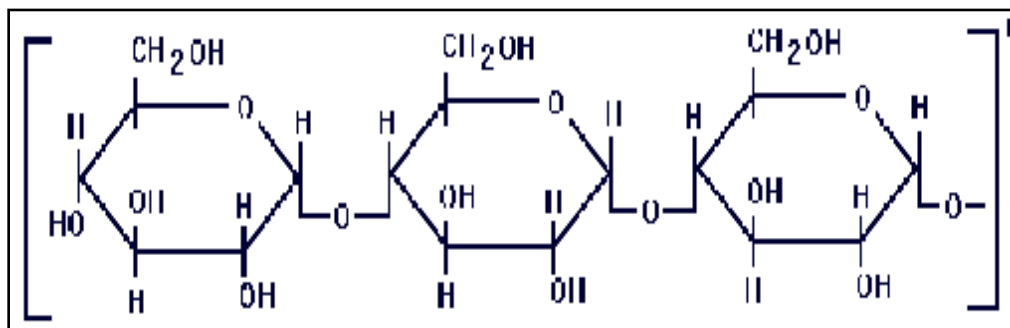
Si el objetivo de la materia prima es la extracción de almidón, estas deben tener un alto contenido de materia seca, ya que existe una alta correlación entre el contenido de materia seca y almidón. (Gomes & Wong, 1998). Además de un buen contenido de ácido fosfórico ya que este es el responsable de dar la viscosidad a este polisacárido (Loyal, Oyarce, & Acuna, 2010), más aún, cuando este se usa como ingrediente gelatinizante de otros productos, como es el caso de algunas jaleas a partir de almidón de papa.

• **Composición y estructura del almidón**

El almidón está conformado por dos α -glucanos, el amilosa y el amilopectina, los cuales representan aproximadamente entre el 98 y 99% del peso seco de los gránulos de almidón. Las propiedades de estos biopolímeros junto con la proporción del mismo en el almidón, determinan las características de estos y la relación de los dos polisacáridos también varía dependiendo de la especie de donde se extrae el almidón.

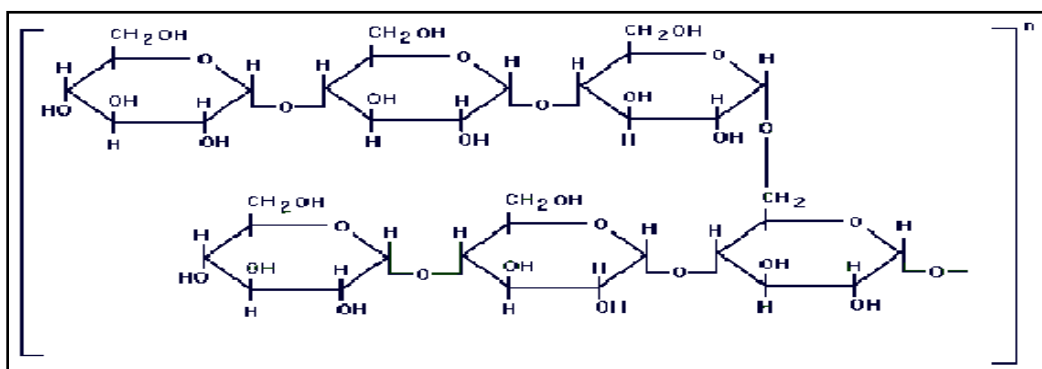
La amilosa (Figura 1.1) está constituida por cadenas largas no ramificadas en las que en todas las unidades de D-glucosa se encuentran unidas mediante enlaces glucosídicos α - (1,4). Por lo tanto la unidad que se repite es la maltosa.

Figura 1.1. Molécula de amilosa(Hyun-Jung & Qiang, 2009).



La amilopectina (Figura 1.2) presenta una cadena lineal de α (1,4) como en la amilosa; además tiene alrededor de 4 al5% de las unidades de glucosa unidas por enlaces α (1,6) dando una estructura ramificada creciente . Posee un peso molecular más grande que la amilosa (1.107 – 1.109 Da).

Figura 1.2. Molécula de amilopectina (Hongsheng, Fengwei, Long, Ling, & Lin, 2009).



La amilosa y la amilopectina (Tabla 1.2) se presentan juntos en los gránulos, pero la amilosa puede separarse de las diluciones de almidón, porque es mucho menos soluble en los disolventes orgánicos, como el butanol (Coultate, 1998). La proporción relativa de amilosa y amilopectina varía de un almidón a otro. En general, los almidones contienen más amilopectina que amilosa, la mayor parte de los almidones contienen entre 20 y 25% de amilosa (Coultate, 1998).

Tabla 1.2. Características de algunos almidones comunes (Badui, 2006).

TIPO	AMILOPECTINA %	AMILOSA %	TAMAÑO GRANULO M
Maíz	73	23	5 – 25
Maíz amiláceo	20 – 45	55 – 80	5 – 25
Papa	78	22	5 – 100
Arroz	83	17	2- 55
Yuca	82	18	5 – 35
Maíz céreo	99 – 100	0 – 1	5 – 25
Sorgo	99 – 100	0 – 1	5 – 45
Trigo	76	24	11 – 41

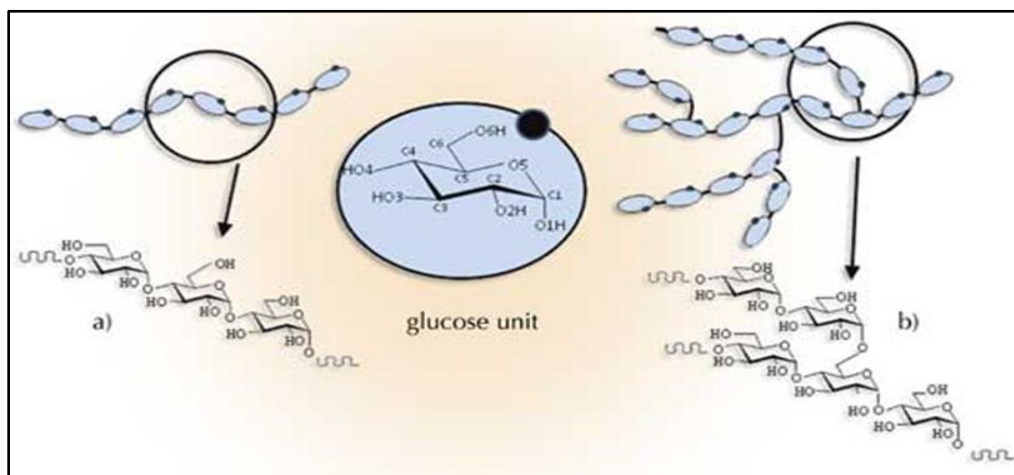
Sin embargo, se ha encontrado, que de todos los factores mencionados, la concentración de sus componentes amilosa y amilopectina, la relación amilosa/amilopectina y la estructura del granulo, es el factor que ejerce mayor influencia en el comportamiento del almidón y que dependiendo de su origen imparte características especiales con fines industriales (Segmark, Hermersson, Nilsson G, Nilsson P, Andersson, & Svensson, 2002). La amilosa se caracteriza porque favorece la retrogradación de sus pastas durante el enfriamiento, ocasionando el indeseable fenómeno de sinéresis, mientras que la amilopectina presenta pastas espesas que no se retrogradan fácilmente al enfriarse (Hoover R, 2002).

- **Estructura y propiedades del gránulo de almidón**

Con relación a la estructura y propiedades del gránulo de almidón, este consiste generalmente en varias capas (Figura 1.3), colocadas alrededor de una región central llamada núcleo (hilium) se ubica alrededor de las cadenas poliméricas de manera radial (Boyer & Shannon, 1987). Así mismo, el grado de esta interacción se ve influenciada por la amilosa y amilopectina, del material botánico de donde proviene y por las características de estas dos moléculas en términos de peso molecular / distribución, grado y longitud de ramificación y conformación (Hoover, 2001). Al microscopio de polarización se observa el clásico esquema de la “Cruz de Malta”, característico de los materiales birrefringentes (Coultate, 1998).

Es así, que el gránulo de almidón puede soportar cierto esfuerzo mecánico y es prácticamente insoluble en agua fría. Los gránulos de almidón no dañados son insolubles en agua fría, debido a la fuerza colectiva de los puentes de hidrógeno, que mantienen unidas las cadenas pero, a medida que la temperatura se eleva hasta lo que se conoce como temperatura inicial de gelatinización, comienzan a absorber agua (Whistler & Daniel, 1984).

Figura 1.3. Unidades estructurales básicas de amilosa (a) y amilopectina (b) (Pérez, 2010).



- **Propiedades gelatinización y retrogradación de los almidones**

En cuanto a propiedades gelatinización y retrogradación de los almidones, la degradación del granulo con el fin de solubilizar el almidón en agua es bastante difícil a bajas temperaturas. Para alcanzar este objetivo se requiere provocar la ruptura de los gránulos de almidón mediante un tratamiento hidrotérmico que involucra la adsorción de agua caliente por parte de los gránulos, hinchamiento y ruptura con la siguiente liberación de la amilosa y amilopectina en forma soluble. Este proceso se conoce con el nombre de gelatinización del almidón y tiene especial importancia en el proceso industrial de este carbohidrato, especialmente durante la producción de hidrolizados de almidón con propiedades edulcorantes (jarabes de almidón), de glucosa y de etanol (Sánchez & Cardona, 2008).

El almidón en la naturaleza es semicristalino, presentando diferentes niveles de cristalinidad. La cristalinidad está exclusivamente asociada con el componente de amilopectina, mientras que las regiones amorfas representan principalmente de amilosa (Singh, Singh-Jaspreet., Kaur, Singh- Sadhi, & Singh-Gil, 2003). Así mismo, el orden cristalino en el gránulo de almidón es a menudo un factor que influye en las propiedades funcionales. Este orden cristalino se ve afectado dentro de los gránulos de almidón, los cuales se manifiestan como cambio irreversibles en propiedades tales como el grado de hinchazón granula, la forma de aglutinación, la pérdida de birrefringencia, la pérdida de orden cristalino, desdoblamiento y disociación de los dobles hélices y la solubilidad del almidón (Singh, Singh-Jaspreet., Kaur, Singh- Sadhi, & Singh-Gil, 2003).

Cuando un almidón se somete a un proceso de calentamiento en medio acuoso, se puede decir que la fase inicial de hinchamiento es reversible, y el gránulo puede secarse y retorna a su tamaño original. Así mismo, las temperaturas iniciales de gelatinización son características de cada tipo de almidón, pero generalmente se hallan en el intervalo 55 – 70 °C (Tabla 1.3). A medida que se sigue aumentando la temperatura, continúa el hinchamiento, la birrefringencia se torna menos nítida y finalmente desaparece. Las estructuras que contenían el granulo de almidón se “funde”. En este punto, se dice que el almidón ha alcanzado la etapa de “gelatinización”. Finalmente, el gránulo se desintegra y el almidón pasa a la solución. Estas etapas finales son irreversibles.

Tabla 1.3 Temperatura de gelatinización de almidón proveniente de diferentes fuentes vegetales(Badui, 2006).

ORIGEN	TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN°C
Arroz	61 –78
Maíz	62– 72
Sorgo	68 – 75
Trigo	52 –63
Papa	58 –66
Yuca	53–63

Por consiguiente, cuando las disoluciones de almidón o pastas de este material se dejan en reposo, se afectan sus propiedades reológicas, las disoluciones diluidas pierden viscosidad, pero las pastas concentradas y los geles se tornan gomosos y exudan agua. Los dos tipos de cambios señalados se deben a un fenómeno denominado retrogradación, que afectan a las moléculas de amilosa. En el transcurso del tiempo, se asocian y cristalizan. Estos efectos, se presentan en las disoluciones de almidón debido a que la amilosa cumple la función de cementar la estructura que le proporciona a los gránulos expandidos de las moléculas de amilopectina, efecto que confiere características reológicas al almidón (Segmark, Hermersson, Nilsson G, Nilsson P, Andersson, & Svensson, 2002).

1.2 Metodología

El montaje del experimento y la realización de las mediciones, se llevaron a cabo en el Laboratorio de Control Biológico adscrito a la Facultad de Agronomía de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, sede Tunja (Boyacá). De otra parte, el análisis morfológico del granulo de almidón por microscopia electrónica de barrido se llevó a cabo en la Universidad Nacional de Colombia, sede de Bogotá en los laboratorios de la Facultad de Ciencias – Departamento de Química en los laboratorio de Química instrumental.

El experimento se realizó empleando seis (6) variedades de papa *Solanum tuberosum*, las cuales procedieron de la provincia zona centro, del departamento de Boyacá, Colombia. Esta zona se caracteriza por ser centro de producción de papa, los municipios que hacen parte, en su mayoría poseen una altura cercana a los 2.843 m.s.n.m con 12,9°C de temperatura en promedio, humedad relativa de 78 % y precipitación de 64,.8 mm.

Las variedades se seleccionaron de acuerdo a los rendimientos agrícolas, la oferta agrícola y según importancia comercial. Se eligieron de las parcelas establecidas por los productores y de ellas se cosechó, mezcló y se tomó al azar 2kg de tubérculos para realizar las diferentes pruebas de procesamiento, como se observa en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4. Variedades y procedencia de la papa (*Solanum tuberosum*). ^a Se define como un clon. No es variedad registrada.

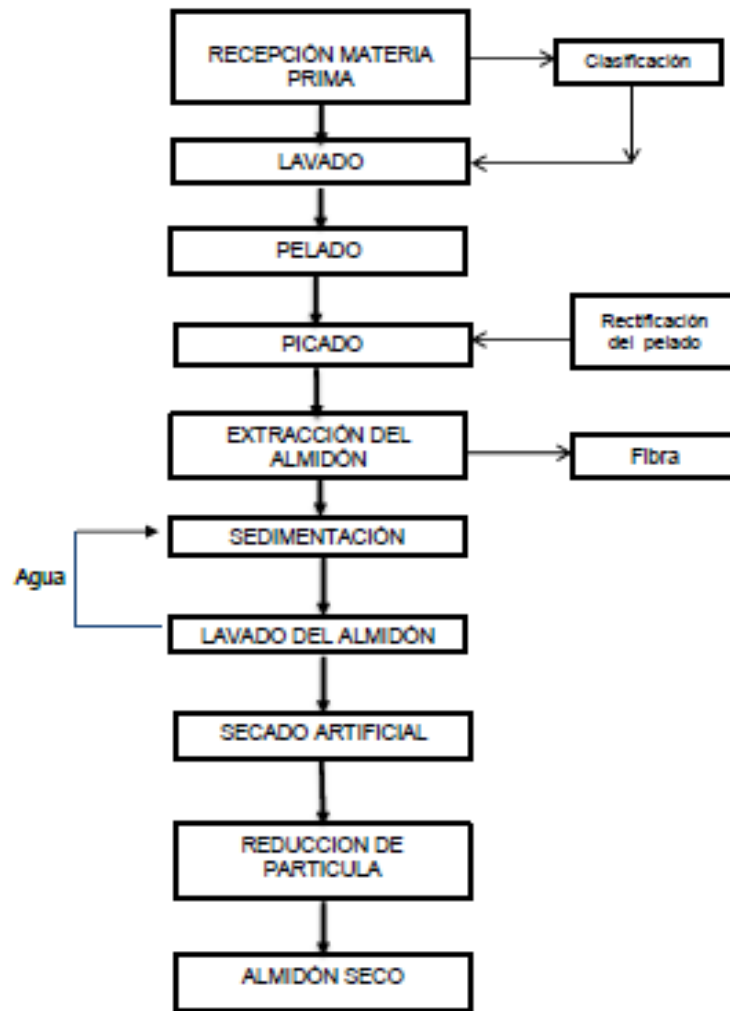
Variedad	Procedencia
DiacolCapiro	Ventaquemada
ICA Única	Ventaquemada
ICA Puracé	Ventaquemada
Tuquerreña	Siachoque
Parda Pastusa	Ventaquemada
Merengo o Marenga ^a	Siachoque

1.2.1 Extracción de almidón nativo

Los tubérculos de papa se limpiaron y pelaron manualmente. Los almidones se obtuvieron según metodología descrita por Singh y Singh (2001), tomando 1 kg de cada una de las variedades de papa evaluadas. Las papas limpias y peladas se fraccionaron con la ayuda de un procesador de alimentos marca Skymesen, en cubos de 1 cm³ y fueron colocados en agua destilada con metabisulfito de sodio (35 g/100 L). Los cubos de papa de cada ensayo, se llevaron a una extracción mediante un procesador de alimentos marca Moullinex, se lavó varias veces con agua destilada hasta que el líquido efluente fue claro(Singh & Singh, 2001).

El filtrado se dejó reposar y decantar y luego, para recuperar el sedimentado, el agua se retiró y filtró para separar el almidón que aún pudiera estar suspendido en el agua. La pasta resultante se extendió sobre bandejas que fueron llevadas a una estufa de aire caliente a 40°C por 24 horas. El almidón obtenido fue llevado a un molino pulverizador marca Cemotec® 1090 SampleMill, para disminuir el tamaño de partícula. Luego el almidón pulverizado se tamizó usando la malla número 100, para retirar impurezas y finalmente fue almacenado en bolsas con cierre hermético. Los pasos dados para este procedimiento se observan en la siguiente Figura 1.4.

Figura 1.4. Diagrama de flujo para la obtención de almidón de papa.



1.2.2 Distribución del ensayo

El estudio se realizó dentro de un diseño experimental completamente al azar, en condiciones de laboratorio con arreglo factorial 2 X 2 donde el primer factor correspondió a las variedades de papa y el segundo factor hizo referencia a las condiciones de hidrólisis para la obtención de etanol.

1.2.3 Análisis físico-químico, composicional y propiedades morfológicas de los almidones

- **Propiedades físico- químicas**

El análisis bromatológico de los almidones provenientes de las diferentes variedades se realizó en el Laboratorio de Bromatología de la Sede Tunja- Escuela de Veterinaria UPTC, bajo las siguientes metodologías aplicando los métodos AOAC ((AOAC), 1998).

- Cenizas: Incineración directa (AOAC 942.05)
- Fibra Cruda (Weende) (Basado en NTC 668)
- Grasa: Extracción Soxhlet (Basado en NTC 668)
- Humedad y otras materias volátiles: Termogravimetría a 103°C (Basado en ISO 6496).
- Proteína Cruda: Kjeldahl (Basado en NTC 4657)
- Carbohidratos: por diferencia.

- **Carbohidratos Totales**

Método volumétrico de Bertrand. Se basa en la separación previa por precipitación de todas las especies reductoras distintas de los azúcares (con disolución saturada de Pb (CH₃-COO)₂ o Hg (CH₃-COO)₂ y Na₂CO₃)).

- **Análisis de las propiedades de composición, propiedades morfológicas y de gelatinización y retrogradación.**

La evaluación de las propiedades funcionales se realizó empleando la siguiente metodología:

- **Cuantificación de amilosa y amilopeptina.**

La cuantificación de amilosa /amilopeptina en el almidón de papa se realizó por la técnica calorimétrica. La fracción de amilosa tiene afinidad para formar complejos con yodo. El complejo coloreado puede ser cuantificado colorimétricamente.

- **Morfología del gránulo de almidón.**

Esta prueba se realizó empleando la técnica de calorimetría de barrido, con preparación de pastilla sólida de las muestras para su observación directa.

- **Microscopía de luz polarizada.**

Se usó un microscopio de luz polarizada, un objetivo 40X y una cámara digital. Las muestras de almidón se espolvorearon en un portaobjeto, se adicionó una gota de agua destilada, se mezcló con una espátula y se colocó un cubreobjeto (Kuakpetoon & Wang, 2008). La captura de las imágenes se hizo con un software Pixel almage Mixer ver 3.0 (Pixela Corporation, Japón).

- **Temperatura de gelatinización.**

La técnica usada fue la de Grace (1977), para ello se pesó 5 g de almidón en base seca se disolvió en agua destilada y se completó a 100 mL; se calentó agua en un vaso de precipitado de 250 mL a 85 °C, se tomó 50 mL de la suspensión en un vaso de precipitado de 100 mL. Luego se introdujo el vaso de precipitado con la muestra en el agua a 85 °C, se agitó constantemente la suspensión de almidón hasta que se formó una

pasta, registrando constantemente la temperatura con un termómetro hasta que la temperatura permaneció estable por unos segundos, posteriormente se leyó la temperatura de gelatinización (Grace, 1977).

1.3 Discusión de Resultados

En general, la garantía de la calidad de todo proceso, se basa en que las materias primas sean disponibles y homogéneas. Por lo tanto, el almidón de papa fue obtenido a partir de tubérculos en estado de madurez óptima, no cosechados con antelación, con el fin de preservar las características del producto. Todos los almidones se sometieron al mismo ambiente asegurando el alcance de las condiciones de equilibrio del laboratorio. Numerosos estudios (Bello-Pérez, Acevedo, Sánchez, & Paredes, 1999; Espín, Villacrés, & Brito, 2003; Garcia & Gomes, 2002), (Espín, Villacrés, & Brito, 2003) han determinado que todo almidón proveniente de diversas fuentes amiláceas, posee características únicas y propias de acuerdo a la fisiología de la planta de la cual se extrae, dado que dentro de los procesos metabólicos de la misma se generan cambios estructurales y de composición que diferencian de un almidón a otro (Alvis, Vélez, Villada, & Rada-Mendoza, 2008)

Teniendo en cuenta lo anterior, se presentan los resultados de cada uno de los parámetros medidos para explicar el comportamiento del almidón extraído según su característica física, química y morfológica, para uso en la industria de alimentos.

1.3.1 Extracción del almidón nativo

El proceso de extracción de almidón se realizó para cada variedad de papa con el fin de establecer el rendimiento, como se observa en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5. Promedios, intervalos, desviación estándar y coeficientes de variación en estudio del almidón extraído de las cinco variedades de papa.

VARIEDAD	PROMEDIO	MÍNIMO	MAXIMO	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN ^(b)
DiacolCapiro	14,87	14,02	15,72	0,85	0,7225
ICA Única	8,79	8,33	9,25	0,46	0,2116
ICA Puracé	13,81	13,1	14,52	0,71	0,5041
Tuquerreña	24,15	23,26	25,05	0,895	0,801
Parda Pastusa	14, 04	13,03	15,05	1,01	1,0201
Merengo o Marenga ^a	3,38	3,31	3,45	0,07	0,0049

^aSe define como un clon. No es variedad registrada (Ñustez C.E).

^bMedida que compara la dispersión entre 2 ó más variables entre sí, o una misma variable en 2 ó más grupos estudiados

El almidón de papa extraído de las diferentes variedades tuvo un color blanco, sin embargo, el clon Merengo o Marenga, presento una coloración rojiza en solución, la cual fue inhibida mediante la adición de bisulfito. Se puede establecer que para el secado del almidón, a temperatura de 40°C se favorece de manera uniforme la evaporación del agua y que temperaturas mayores forman una superficie rígida (costra) que impide este

proceso e impide un secado uniforme lo cual posibilita el crecimiento de microorganismos afectando la vida útil de los almidones.

Como se observa en la Tabla 1.5, el rendimiento de los almidones nativos de papa por cada 100 g de pulpa expresada en base seca fue 8,79 g para la variedad Ica única y 3,38 g para la variedad Marengo, estos resultados obtenidos son relativamente bajos, pudiéndose atribuir a las características de la variedad (Cáceres, 1991) y al manejo del cultivo (Ortiz & Hernández, 1985).

Por el contrario, los resultados hallados para las variedades Parda pastusa, Diacol Capiro y Tuquerreña fueron de 14.04%, 14.87% y 24.15% respectivamente, expresan un contenido alto de materia seca, ratificando una alta correlación entre esta y el contenido de almidón (Gomes & Wong, 1998), lo que a su vez permite plantear una serie de posibilidades de uso para su aprovechamiento industrial (Singh, Kaur, Singh, & Singh-Sekhon, 2005).

Por consiguiente, de las variedades analizadas de papa que satisface un alto contenido de materia seca es la Tuquerreña es una variedad apta para la obtención de almidón lo que permite inferir su posibilidades de uso para este tipo de proceso agroindustrial(Garcia & Gomes, 2002).

1.3.2 Análisis de las propiedades de composición, propiedades morfológicas y de gelatinización y retrogradación del almidón

- **Propiedades físico-químicas**

En la Tabla 1.6 se muestra los valores obtenidos del análisis físico-químico de los almidones nativos de papa.

Tabla 1.6. Análisis proximal de almidones nativos de papa.

Variedad	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Fibra (%)	Cenizas (%)	Carbohidratos totales	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación ^(b)
DiacolCapiro	15,23	0,42	0,32	0,02	0,66	83,35	0,08	0,01
ICA Unica	17,20	0,43	0,32	0,02	0,87	81,15	0,33	0,11
ICA Puracé	17,20	0,42	0,32	0,02	0,52	81,52	0,24	0,06
Tuquerreña	14,57	0,43	0,35	0,02	0,53	84,09	0,94	0,88
Parda Pastusa	17,20	0,43	0,32	0,02	0,87	81,22	0,33	0,11
Merengo o Marenga ^a	18,82	0,43	0,32	0,04	0,38	80,02	0,20	0,04

^aSe define como clon, no es variedad registrada. Los resultados representan el promedio.

^bMedida que compara la dispersión entre 2 ó más variables entre sí, o una misma variable en 2 ó más grupos estudiados.

El contenido de humedad en los seis almidones de papa fue entre 14,57 % y 18,82 % para la variedad Tuquerreña y variedad Marenga respectivamente; estos resultados difieren con la información reportada por otros estudios para almidón nativo de papa que varía entre 7,00 a 13,3 % (Hoover, 2001) (Sanggeetha & Asimk, 2006). Dicha variación puede ser ocasionada por el sistema de producción (Porrás, P.; López, G.Y., 2004), (División de comercio y de mercados de la FAO, 2008), baja calidad de la semilla, inadecuado uso de prácticas de manejo de cultivo, entre otras (Ortiz & Hernández, 1985).

La proteína y la grasa presente en los almidones nativos de papa no muestran diferencias, encontrándose contenidos entre 0,42 % para la variedad Diacol Capiro y 0,43 % para las demás variedades. Los valores reportados de grasa para la variedad Tuquerreña son de 0,35 % y de 0,32 % para las demás muestras analizadas. Estos resultados concuerdan con lo reportado en trabajos realizados con almidones de papa con contenidos entre 0,00 a 0,05 % (Hoover, 2002).

Se observa valores a nivel de trazas de fibra 0.015%, tal y como lo reporta Giraldo (1995) (Giraldo & Correa, 1995). Sin embargo, el clon Marengo, presenta un valor de 0,035%, muestra que el almidón contiene mayor porcentaje de agua quizás debido a las modificaciones sufridas durante el proceso de obtención dado que no es una variedad registrada como tal (Ñustez, C.E., 2011).

Los resultados muestran diferencias significativas importantes en el contenido de cenizas entre los almidones de papa, evidenciándose un alto contenido para ICA Única y Parda Pastusa (0,87 %). Este aumento en la cantidad, posiblemente está relacionado con el contenido de minerales de los suelos de donde proviene el material vegetal, producto del proceso de fertilización del cultivo (Cáceres, 1991; Lorenzo, 1993; Roberts, 1997). Estos resultados son similares a los obtenidos por otras investigaciones en las cuales, se reporta que el contenido de fósforo y calcio influyen en el contenido final de las cenizas (Hoover R, 2002).

▪ **Propiedades funcionales**

La proporción de amilosa y amilopectina en la estructura molecular del gránulo, guardan una estrecha relación con la estructura molecular de estas cadenas, la arquitectura del gránulo y la presencia de otras sustancias que pueden interaccionar y cuya presencia depende de la pureza después de su extracción incide en sus usos industriales (Balagolapan, Padmaja, Nanda, & Moorthy, 1988; Kokini, Lai, & Chedid, 1992; Aparicio, Waliszewski, & Monroy-Rivera, 2003).

En la Tabla 1.7, se presenta el contenido de amilosa en almidón para las variedades de Diacol Capiro corresponde a un 9,95 %, para la variedad ICA Unica es de 9,47 % y para la variedad ICA Puracé de 9,34 %, muestran variaciones significativas, al compararse con las variedades Tuquerreña, Parda Pastusa, Marengo o Marenga, dado que los valores obtenidos corresponden a 18,13 %, 18,64 %, 10,27 %, respectivamente.

Tabla 1.7. Contenido de amilosa y amilopectina en el almidón de tubérculos. ^aMedia de tres repeticiones ± error estándar.

Variedad	Amilosa	Amilopectina
DiacolCapiro	9,95 ± 0,26	90,15 ± 0,42
ICA Unica	9,47 ± 0,05	90,53 ± 0,05
ICA Puracé	9,34 ± 0,07	90,66 ± 0,06
Tuquerreña	18,13 ± 0,20	81,87 ± 0,20
Parda Pastusa	18,64 ± 0,06	81,34 ± 0,03
Merengo o Marenga	10,27 ± 0,78	89,03 ± 0,18

Estas diferencias encontradas en el contenido de amilosa, se debe a la variabilidad que existe entre un variedad y otra en el caso de la papa y las prácticas culturales, el cual es afectado por las condiciones climáticas y tipo de suelo durante el crecimiento (Singh N. , Singh, Kaur, Singh Sodhi, & Singh Gill, 2003). Así mismo, está relacionado con el tamaño y la forma del gránulo (Lideboom, Chang, & Tyler, 2004). Sin embargo, los reportes de almidón de papa de otras variedades procedentes de otros países, al ser comparados es muy bajo con lo reportado en investigaciones donde el contenido de amilosa para almidones nativos de papa varían entre el 22 y el 26 % (Hoover R, 2002), (Hoover, 2001).

Otras investigaciones reportan que la actividad de las enzimas involucradas en la biosíntesis del almidón puede ser responsable de la variación en el contenido de amilosa entre diferentes almidones, así como los procedimientos de aislamiento y los métodos analíticos usados para determinar el contenido de amilosa (Bou-Rached, De vizcarrondo, Rincón, & Padilla, 2006).

De acuerdo a lo anterior, los valores de amilosa de las muestras evaluadas, permiten catalogarlos como almidones con bajo contenido en amilosa. No obstante, la relación amilosa/amilopectina fue mayor para la Parda Pastusa y Tuquerreña, indicando mayor contenido de amilosa y por consiguiente geles más fuertes con mayor tendencia a retrogradar, con lo cual el comportamiento de la pasta de almidón en sistemas acuosos puede depender de ello, además de otras características físicas y químicas de los gránulos de almidón, tales como, promedio del tamaño de gránulo, distribución del tamaño del gránulo y contenido mineral (Bou-Rached, De vizcarrondo, Rincón, & Padilla, 2006).

• **Morfología del gránulo de almidón**

El almidón, está conformado por gránulos que tienen diferentes tamaños (diámetros entre 10 a 100 micras) y formas (redonda, elíptica, ovalada, lenticular o poligonal) dependiendo de la fuente biológica de donde provengan, son parcialmente semicristalinos e insolubles en agua a temperatura ambiente (Lideboom, Chang, & Tyler, 2004). Su contenido de amilosa y amilopectina, temperatura de gelatinización, consistencia del gel y textura, comportamiento viscoso y propiedades térmicas, permite su utilización en la industria alimenticia (Singh, Kaur, Singh, & Singh-Sekhon, 2005).

Las Figura 1.5, 1.6 y 1.7, muestran las microfotografías obtenidas para los almidones nativos de papa, esta técnica permitió identificar el tipo de almidón a partir del tamaño y forma del granulo y la posición del hilium. Como se observa las formas regulares de los gránulos nativos del almidón de papa corresponden a ovoide y redonda, dichas observaciones coinciden con lo

reportado en la literatura por diversos autores (Hoover, 2002), (Singh, Singh-Jaspreet., Kaur, Singh- Sadhi, & Singh-Gil, 2003).

Las diferencias morfológicas entre almidones de papa son mayores que entre otros cultivos de cualquier otra fuente botánica, como se observa en las Figuras 1.5,1.6 y 1.7. Pueden estar asociadas a las prácticas agrícolas, (Martin & Smith, 1995; Singh, Singh-Jaspreet., Kaur, Singh- Sadhi, & Singh-Gil, 2003) y a las condiciones climáticas, las cuales inciden en el tamaño de gránulos de almidón. Estos dependen de la bioquímica de los cloroplastos y los procesos que se suceden en la síntesis propia del almidón a través de la fotosíntesis (Hoover, 2001). Así mismo, el grado de variación en la estructura granular de los almidones de papa analizados, confirma que oscila entre variedades de manera característica como lo reportan varios autores.(Singh, Singh-Jaspreet., Kaur, Singh- Sadhi, & Singh-Gil, 2003; Garcia & Walter, 1998; Lajolo & Wenzel-Menezes, 2006).

Figura 1.5. Morfología del granulo de almidón nativo de la variedad Diacol Capiro, ICA Única. Técnica Microscopía óptica de alta resolución 500x.

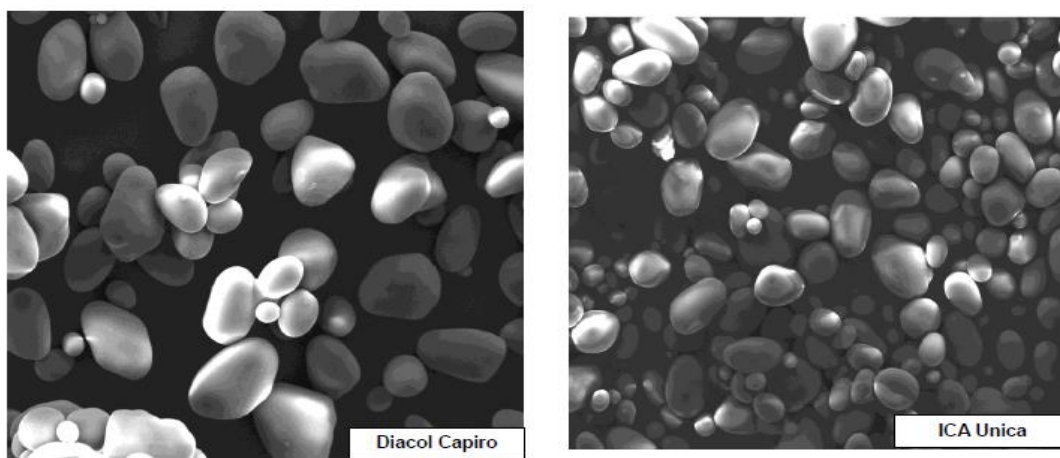


Figura 1.6. Morfología del granulo de almidón nativo de las variedades ICAPuracé y Tuquerreña. Técnica microscopia de barrido a 500x.

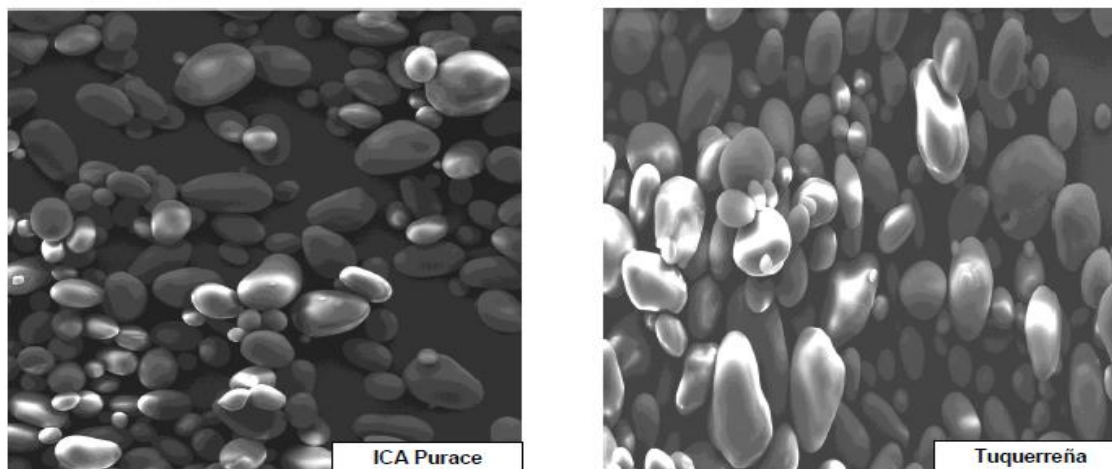
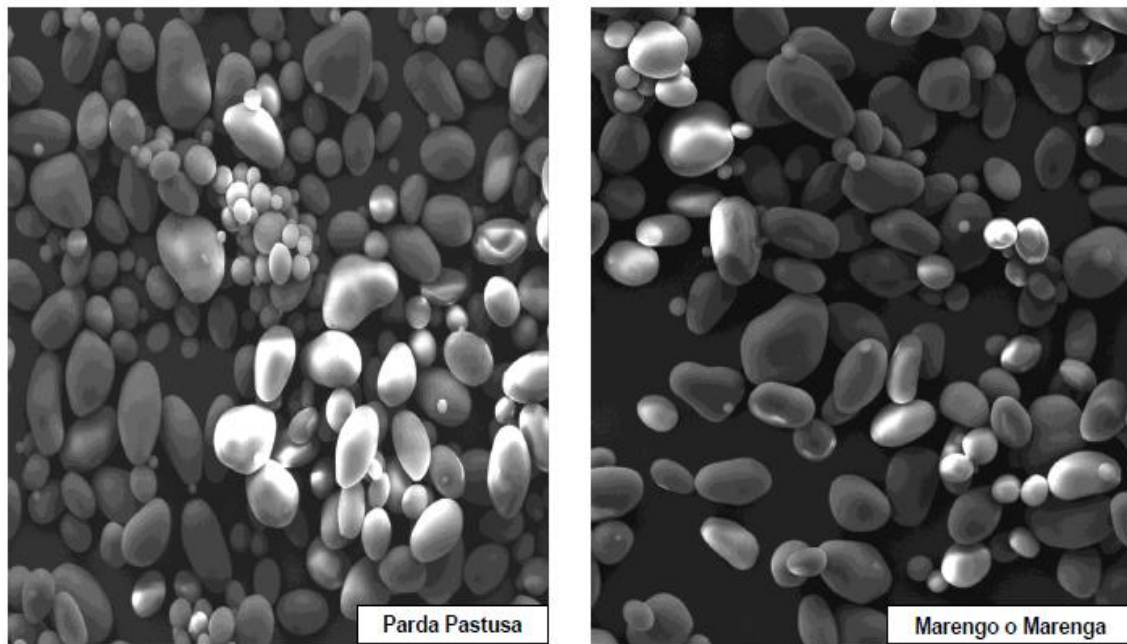


Figura 1.7. Morfología del granulo de almidón nativo de las variedades Parda Pastusa y Merengo o Marenga. Técnica microscopia de barrido a 500x.



- **Microscopía de luz polarizada**

Los gránulos de almidón nativo varían de forma y de tamaño de una especie a otra, pero todos tienen una característica común: bajo el microscopio e iluminados con luz polarizada, los granos de almidón teñidos con yodo presentan una "cruz de Malta" (Figuras 1.8, 1.9, 1.10, 1.11, 1.12 y 1.13) distintiva lo que indica la existencia de un orden interno común. Cuando los gránulos se calientan en exceso de agua (formación de pasta), la "cruz" comienza a desaparecer, lo que demuestra que este orden molecular está interrumpido. Las propiedades físicas del almidón - su estabilidad y las transformaciones de fase, por ejemplo, de gránulos de almidón a los geles, o de pasta cruda, suave - están directamente vinculadas a este orden molecular.

Figura 1.8. Morfología de los gránulos de almidón nativo de papa variedad Diacol Capiro. Técnica de microscopía de luz polarizada 40X.

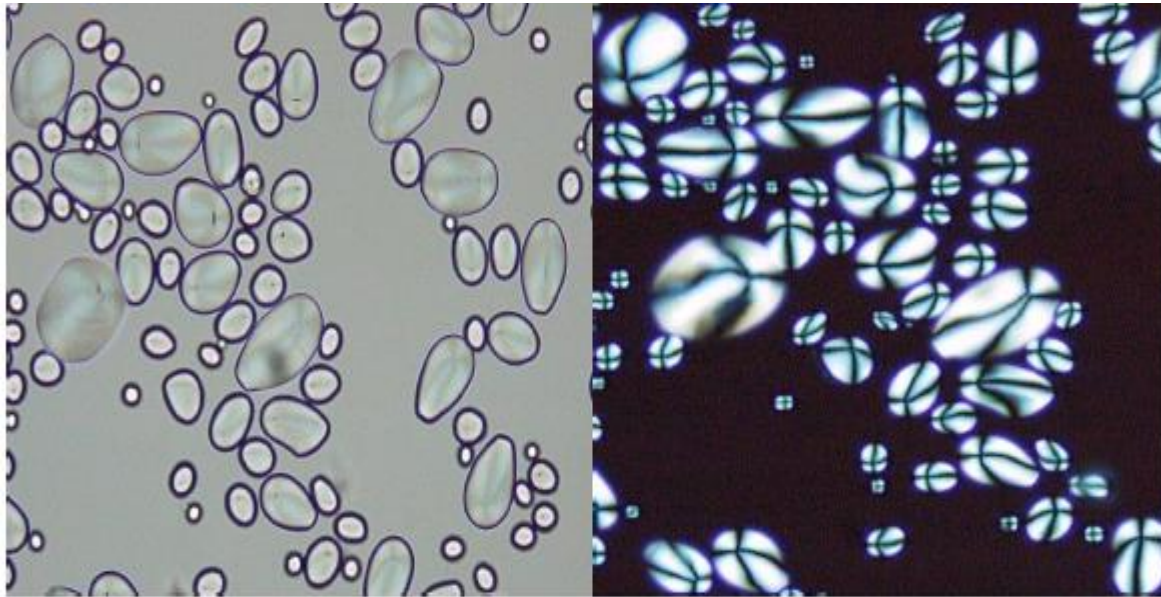


Figura 1.9. Morfología de los gránulos de almidón nativo de papa variedad de ICA Única. Técnica de microscopía de luz polarizada 40X.

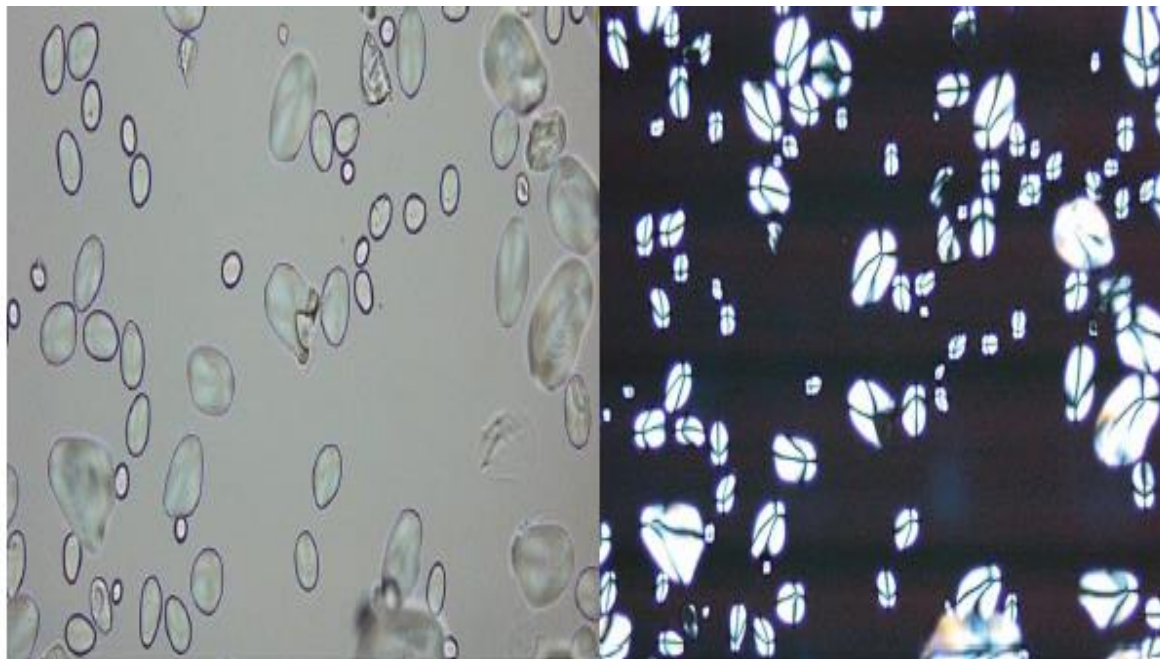


Figura 1.10. Morfología de los gránulos de almidón nativo de papa variedad de ICA Puracé. Técnica de microscopía de luz polarizada 40X.

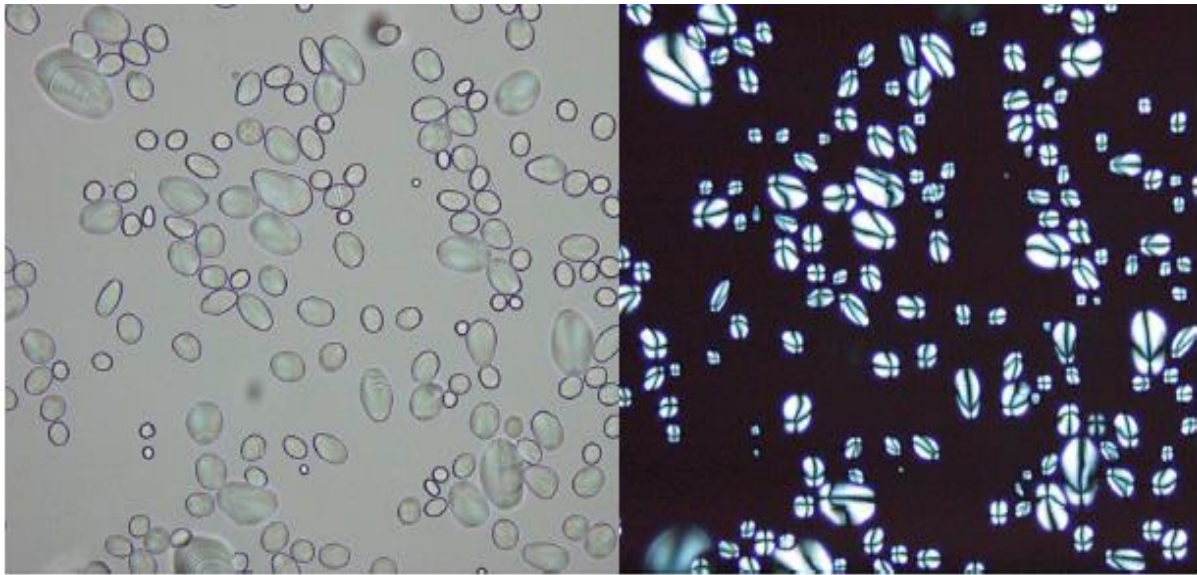


Figura 1.11. Morfología de los gránulos de almidón nativo de papa variedad Tuquerreña. Técnica de microscopía de luz polarizada 40X.

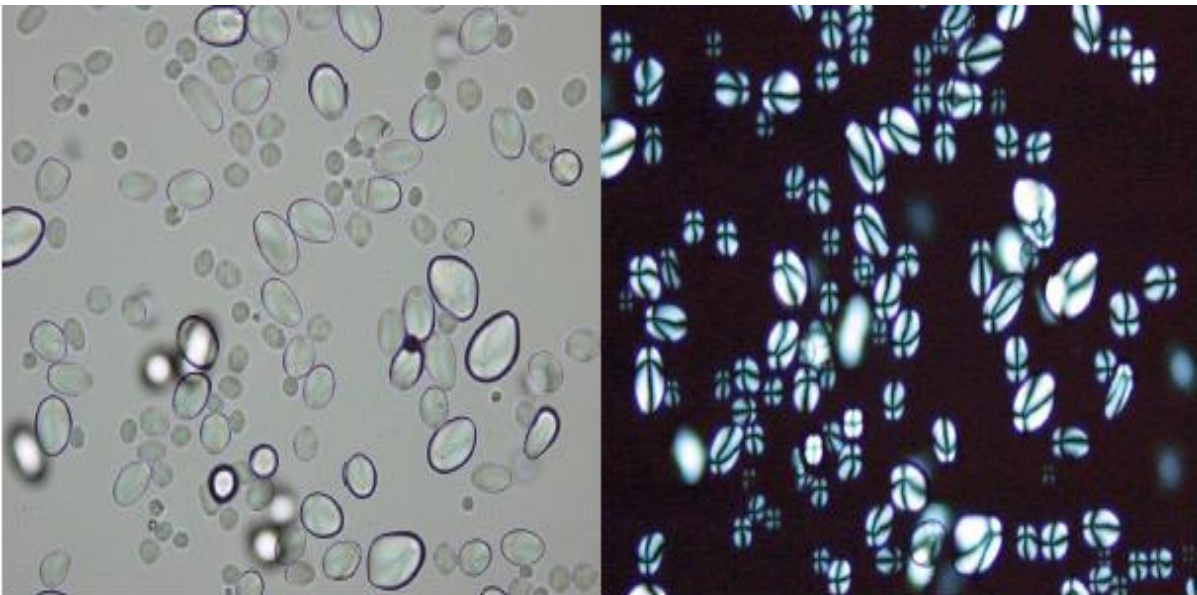


Figura 1.12. Morfología de los gránulos de almidón nativo de papa variedad Parda Pastusa. Técnica de microscopía de luz polarizada 40X.

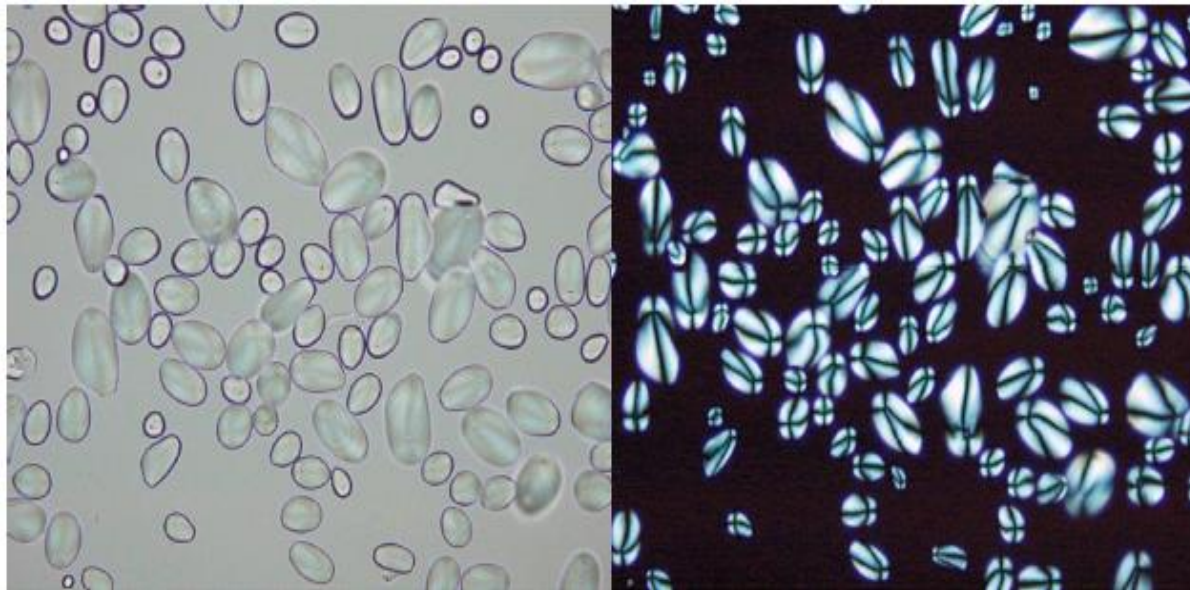
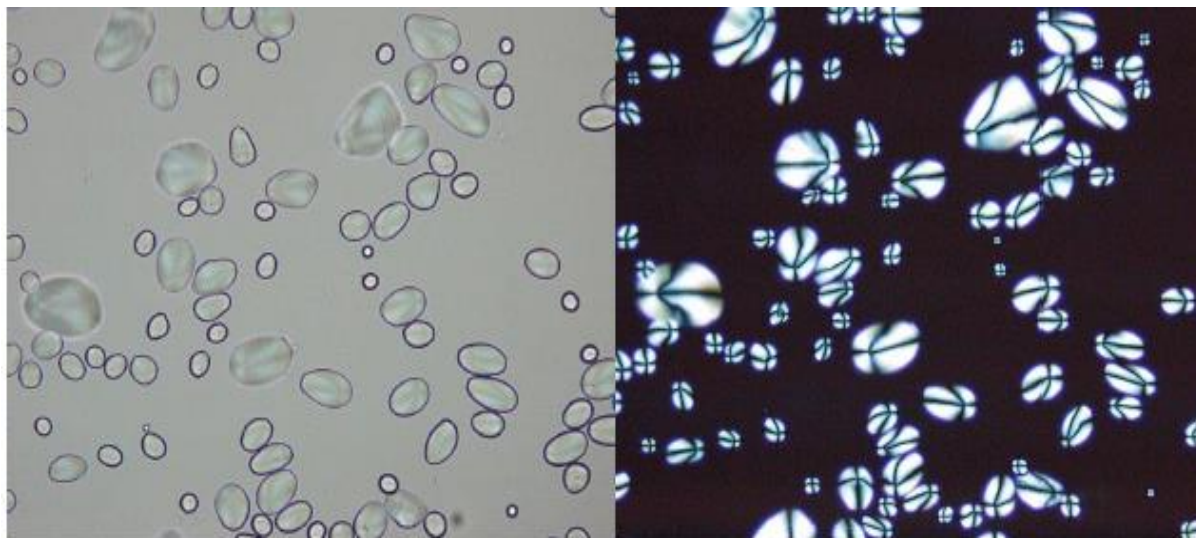


Figura 1.13. Morfología de los gránulos de almidón nativo de papa del Clon Merengo o Marenga. Técnica de microscopía de luz polarizada 40X.



En las Figuras 1.8, 1.9, 1.10, 1.11, 1.12 y 1.13, se observó el almidón nativo de papa con formas típicas ovoides y esféricas, este análisis coinciden con lo reportado por Hoover (2001). De igual forma, los almidones analizados presentan birrefringencia, donde se ubica el hilum, de manera concéntrica y que corresponde a la “cruz de malta” (Vásquez & Tham, 2007). De lo anterior se deduce que, existe un alto nivel de organización molecular por el arreglo dispuesto en forma radial de las cadenas de amilosa y amilopectina. Los almidones de Diacol Capiro (Figura 1.8) e Ica Puracé (Figura 1.9) presentaron un gránulo de mayor tamaño que el resto de las variedades, lo cual está relacionado directamente con la variedad. A partir de la observación los gránulos bajo la luz polarizada, se infiere que los almidones analizados provenientes de las seis (6) variedades de papa, poseen características propias y diferenciales.

• **Gelatinización del almidón de papa de las variedades seleccionadas.**

De acuerdo a las temperaturas reportas en la Tabla 1.8, la temperatura de gelatinización, se observa que forman una pasta poco elástica siendo difícil de licuar. Esto se debe a la ausencia del fenómeno de complexación, aspectos que se reporta como fenómeno de ocurrencia durante la cocción en almidones provenientes de los cereales, donde se forman complejos entre ácidos grasos y la amilosa (Ovalle & Rincón, 2005).

Tabla 1.8. Temperatura de gelatinización para el almidón de papa proveniente de las diferentes variedades.

Variedad	Tº Inicial de Gelatinización (ºC)
DiacolCapiro	60
ICA Única	55
ICA Puracé	55
Tuquerreña	50
Parada Pastusa	50
Merengo o Marenga	45

La amilosa se caracteriza porque favorece la retrogradación de sus pastas durante el enfriamiento, ocasionando el indeseable fenómeno de sinéresis, mientras que la amilopectina presenta pastas espesas que no se retrogradan fácilmente al enfriarse (Hoover, 2002).

Debido a que el almidón de papa al ser comparado con el de otras fuentes, por ser uno de los polisacáridos más ricos en amilosa, al ser calentado y llevado a temperatura de gelatinización le confiere más fuerza al gel que forma y este a su vez, requiere mayor energía para romperse (Segmark, Hermersson, Nilsson G, Nilsson P, Andersson, & Svensson, 2002)

De la misma manera, se observó que en la medida que la temperatura aumenta los gránulos del almidón van aumentado su tamaño, debido la capacidad de hincharse el granulo al embeber agua del medio, cabe destacar que el tamaño inicial con que se parte difieren de una muestra a la otra como lo reporta la investigación de Sánchez & Cardona (2005). Lo que se corrobora que al compararse la temperatura de gelatinización de la variedad Diaco ICapiro con el Clon Marengo o Marenga, al ser observado el tamaño del granulo según las Figuras 1.5 y 1.7.

De acuerdo a lo anterior, se deduce que el tamaño del granulo influye inversamente en el punto de gelatinización, ya que a mayor tamaño del granulo menor es la temperatura, como sucede en el clon Marengo, donde el punto de gelatinización se alcanza a los 45°C, mientras que para la ICA Unica e ICA Puracé es de 55 °C. Las variedades Parda Pastusa y Tuquerreña mostraron un tamaño de gránulo promedio entre las seis variedades analizadas, como se observa en la Figura 1.6 y Figura 1.7

Asimismo, si la amilopectina es hidrolizada por métodos químicos y enzimáticos el poder de hinchamiento es reducido; ya que el hinchamiento es una propiedad primaria de la amilopectina y es regulada por la cristalinidad de los almidones de acuerdo a los reportes de Tester&Karkalas (1996) (Tester & Karkalas, 1999).

La escasa diferencia en solubilidad de los almidones nativos de papa con respecto a los de yuca y al maíz, podría atribuirse al menor contenido de amilopectina presente en los almidones nativos de yuca y maíz. Existe la posibilidad que las ramificaciones laterales (amilopectina) de las moléculas del almidón y un menor tamaño del gránulo, facilitan la entrada del agua a los espacios intermoleculares, aumentando la solubilidad de los polímeros, siendo la amilopectina la de mayor proporción de disolución. Esto desde luego, incide en el aumento de solubilidad de las moléculas en el agua y en la estabilidad de la viscosidad

Este proceso, también llamado hidrólisis, es llevado a cabo por dos enzimas: la α -amilasa, la enzima licuefactora y la glucoamilasa, la enzima sacarificadora. Estas se hallan entre las amilosacaridasas más estudiadas dadas su alta actividad y sus muchas aplicaciones industriales (Byong, 2000).La hidrólisis enzimática del almidón granular también causa cambios significativos en las propiedades funcionales de los almidones, tales como temperaturas de gelatinización, la formación de gel y viscosidad de la pasta que son muy importantes para definir los usos industriales de almidones. Los almidones hidrolizados por las enzimas tienen su peso molecular reducido y muestran una reducción de la viscosidad de pasta y poder de hinchamiento (Rocha, Caneiro, & Franco, 2010).

Las cadenas amilosa y amilopectina del almidón de papa difieren no sólo en cuanto a sus propiedades físicas, sino también en cuanto a las proporciones ya que, la amilosa representa entre el 18,64 %, y el 18,13% para la variedad Parda Pastusa y Tuquerreña respectivamente como se observó en Tabla 1.7, mientras al ser comparadas entre sí las variedades muestran que son principalmente amilopectinas.

Cuando los gránulos se rompen, crean una serie de fracciones que juegan un papel diferente cada uno, en las propiedades de gelatinización e hinchamiento de los gránulos; tales fracciones son: gránulos nativos, gránulos fragmentados (ordenados o formadores de gel) y material soluble de bajo peso molecular. Los fragmentos ordenados, son derivados de la pared rota del gránulo y tiene el alto nivel de su estructura nativa integra; los fragmentos formadores de gel se comportan como tal en agua fría y carecen de integridad ordenada. Mientras que los fragmentos de bajo peso molecular son producidos cuando se rompen las regiones de las ramificaciones formadas por glucosas con enlace glucosídico α (1,6) y todos ellos son de longitud comparable. Ambos fragmentos son hidrolizados por la enzima α -amilasa (Tester & Karkalas, Swelling and gelatinization of oat starches., 1999).

2. Producción de etanol a nivel experimental a partir de almidón de papa empleando variedades Parida Pastusa y Tuquerreña producidas en Boyacá

Dado que la interacción entre la producción de almidón y la planta, es el primer paso para evaluar la producción de glucosa, resultó interesante analizar las relaciones existentes entre la labor de fertilización del cultivo, la composición y estructura morfológica que presentan los almidones provenientes de las diferentes variedades papa, con el fin de reunir información sobre la incidencia que tienen estos factores en el proceso de la hidrólisis enzimática y la obtención de alcohol. Para ello, fue necesario, seleccionar dos variedades de papa teniendo en cuenta los resultados de porcentaje (%) de rendimiento de almidón, porcentaje (%) de amilosa y amilopectina, temperatura de gelatinización, condiciones necesarias para la eficiencia en la hidrólisis y para el proceso de producción de etanol.

2.1 Estado del arte

2.1.1 Proceso de obtención de bioetanol

El proceso químico de producción de bioetanol se basa simplemente en una fermentación, que es un cambio químico en las sustancias de naturaleza orgánica llevado a cabo por la acción de enzimas. Mediante la fermentación las sustancias orgánicas complejas se transforman en otras simples (Fennema, 2000). Actualmente se encuentran diferentes opciones para producir etanol a partir de materias primas ricas en carbohidratos (azúcar, almidón, celulosa, entre otros). Por tal razón, es común designar al etanol obtenido por esta vía como "bioetanol". Entre estas materias primas se encuentran las frutas y vegetales como la caña de azúcar y la remolacha, los cereales (trigo, maíz, sorgo), los tubérculos (papas, yuca) y en general, materias provenientes de ligno-celulosas o de residuos orgánicos (Vazquez & Dacosta, 2007; Cardona & Sánchez, 2007)

- **Producción de alcohol a partir de almidón**

El uso de almidón como complemento de la producción de la industria azucarera obtenida de la caña de azúcar, puede conllevar al desarrollo agroindustrial para las regiones que tienen tradición de la producción de tubérculos, caso de la papa. Sin embargo, la producción de etanol a partir de almidón requiere pasar por una etapa previa que es la hidrólisis, en la cual se consigue obtener azúcares disponibles necesarios para llevarse a cabo el proceso de la fermentación y por último la obtención del alcohol. Se

reporta teóricamente que por cada 100g de almidón se pueden obtener 111g de glucosa (Sanchez & Cardona, 2005).

La producción industrial de etanol a partir de almidón se realiza en Estados Unidos, para lo cual se emplea el almidón de maíz. Así mismo, Brasil está empleando como materia prima la caña de azúcar, siendo el primer productor de alcohol y de uso de tecnología muy desarrolla para los procesos de fermentación a nivel mundial (Zanin, y otros, 2000; Sanchez & Cardona, 2005).

González & Molina (2006) se estudiaron, a nivel de laboratorio, la hidrólisis enzimática y las condiciones de fermentación del almidón de la papa (*Solanum tuberosum*), a fin de determinar las mejores condiciones para producir alcohol. En la primera etapa experimental se analizó el efecto sobre la conversión a azúcares reductores, de la concentración de las enzimas α -amilasa y amiloglucosidasa, la concentración de sustrato y el tiempo de sacarificación. La conversión a azúcares reductores se ve favorecida al utilizar los valores de 0,8 mL/kg sustrato y 20 % respectivamente de almidón en solución.

Así mismo, se reporta que la concentración de la enzima amiloglucosidasa y el tiempo de sacarificación no presentaron significancia estadística, por lo que se recomienda utilizar 0,8 mL/kg sustrato y un tiempo de 14 h. En la etapa del seguimiento cinético de la fermentación, se obtuvo un consumo de azúcares reductores de 91 %, una concentración máxima de alcohol de 10,33 % v/v, un rendimiento de etanol con respecto al ideal de 0,98 y una eficiencia de la fermentación de 0,91. El rendimiento de etanol para el proceso global fue de 0,0746 kg etanol/kg papa (González & Molina, 2006)

Otra fuente amilácea que se investigó, fue la yuca (mandioca) con el propósito de evaluar su uso como alternativa para la producción de etanol, debido a que este tubérculo constituye una de las fuentes de energía más importantes en las regiones tropicales del mundo que dependiendo de la variedad se pueden obtener rendimientos de 140 a 170 litros de etanol por tonelada de raíces frescas (Tabla 2.1)(Castaño, Cardona, Mejía.G.C., & Acosta, 2011)

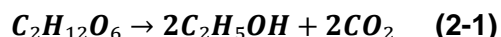
Tabla 2.1. Disponibilidad de cultivos existentes y productividad (Aya, Pineda, Sánchez, & Alzate, 2005).

Disponibilidad de cultivos existentes y productividad Materias Primas	Total Hectáreas Necesarias	Productividad Total (Tm)	Rendimiento (Tm/Ha)
Maíz	9.064,0	58.460	6,450
Papa	14.221,0	250.132	17,589
Plátano	36.668,0	652.593	17,797
Yuca	9.140,6	167.243	18,297
Bore	2.850,0	142.500	50,000

Otra fuentes amiláceas como el bore, papa y plátano en el país, se han estudiado, sin embargo a pesar que presentan un numero considerado de tierras en producción, se requiere un incremento mayor en el número de hectáreas, debido no solo a las condiciones agroecológicas de cultivo, sino además, a los bajos rendimientos que estos

presentan (Aya, Pineda, Sánchez, & Alzate, 2005). Así mismo, el proceso de obtención de bioetanol a partir de estas fuentes, requiere de unas condiciones que se relacionan con la composición del almidón, cantidad de amilosa y amilopectina y otros componentes presentes en este. De tal manera, que se asegure una mayor eficacia del tratamiento preliminar, del grado de hidrólisis del almidón, la concentración del azúcar, el pH y de la temperatura óptima de la conversión de almidón a glucosa (Cara, Ruiz, Oliva, Sáez, & Castro, 2008).

La transformación de glucosa a etanol por acción de microorganismos, siendo transformada en alcohol etílico y dióxido de carbono a través de reacciones de óxido-reducción como se muestra en la ecuación 2-1:



En el 2001, comienza la investigación en Colombia, para utilizar el etanol como combustible, en este año el gobierno aprueba la ley 693 que obliga al enriquecimiento en oxígeno de la gasolina. Esto se plantea inicialmente para reducir las emisiones de monóxido de carbono como mecanismo de reducción de impactos en el medio ambiente. Regulaciones más recientes eximieron al etanol elaborado a partir de biomasa de algunos impuestos que gravan la gasolina, haciendo así más barato el etanol que la gasolina (Ley 788 artículo 88). Así mismo, hacia el 2005 se hace de obligatoriedad la adición de un 10% de EtOH (Alcohol) a la gasolina en ciudades con más de 500.000 habitantes, de tal manera que se aplique esta disposición en todas las ciudades en el país en los años siguientes.

La principal materia prima que se emplea para la producción de EtOH es la caña de azúcar, ya sea como jugo de caña o como melazas (subproducto de la producción de azucarera). Se puede obtener aproximadamente 70L de EtOH/ ton de caña y 9 L EtOH/ton de melazas (Moreira & Goldemberg, 1999). Según los datos reportados por diversas fuentes, en promedio el 73 % del EtOH producido mundialmente corresponde a alcohol carburante, el 17 % a alcohol para bebidas y el 10% es alcohol industrial (Sanchez & Cardona, 2005).

De otra parte, algunas de las investigaciones adelantadas han mostrado avances en el uso de otras materias primas como sustratos para la obtención del etanol, es así que en el estudio adelantado por Monsalve, J.F.; Medina de P, V.I & Ruiz, C. A. (2006), donde evaluaron la producción de etanol a partir de la cascara de banano y de almidón de yuca. Se logró una concentración de etanol $7,92 \pm 0,31\%$ empleando como microorganismo la *Saccharomyces cerevisiae* en la fermentación no se aprecia una producción considerable de etanol (menor de 0.1 g/l) para ninguno de los medios fermentados (Monsalve, Medina de Pérez, & Ruíz, 2006).

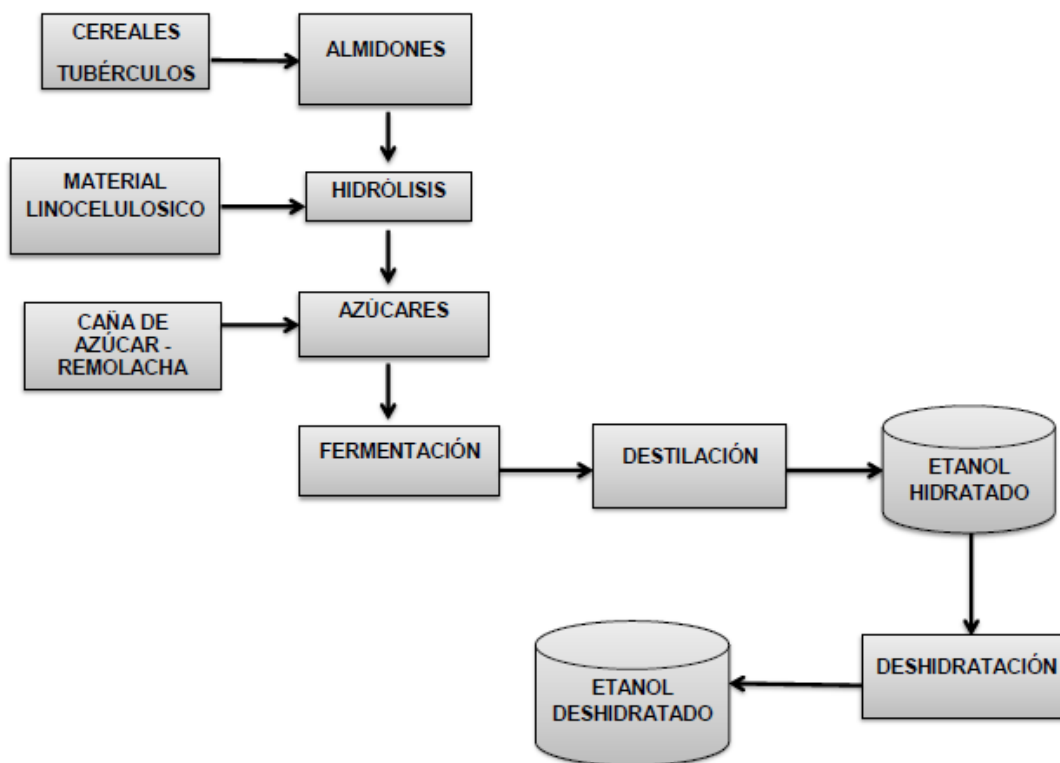
Otros estudios, son los relacionados por Asturizaga y Bocanegra (2008) quienes evaluaron los rendimientos en el proceso de obtención de alcohol a partir de harina de ñame (*Dioscorea bulbifera*, Trífida) por vía enzimática, obteniendo resultados que demostraron que la variedad D, Trífida en las concentraciones de 10% y de 13% m/v presentó rendimientos en cuanto a volúmenes de alcohol, con valores de 786,87 y 792,96 L/Tm de harina respectivamente (Asturizaga Avliez & Bocanegra Amaya, 2008). Así mismo, dicho estudio demostró que empleando concentraciones del 16% de harina

presenta menores rendimientos en la producción de alcohol con un valor de 520,66 L/Tm (Murgas Torres & Vásquez Monterrosa, 2013).

Así mismo, González y Molina (2006) reportan resultados sobre la hidrólisis enzimática y la fermentación de la papa (*Solanum tuberosum*), con el fin de evaluar y establecer las condiciones para producir alcohol, obteniendo una concentración máxima de alcohol de 10,33% v/v. El rendimiento de etanol del proceso fue de 94,5 L de etanol/Tm de papa, utilizando una concentración de 20% m/v de sustrato (González Fernandez & Molina Córdoba, 2006).

El esquema general para la obtención del bioetanol a partir de materias primas amiláceas y otras sigue las siguientes fases en el proceso que se muestra en Figura 2.1.

Figura 2.1. Obtención de etanol a partir de materias primas amiláceas y otras fuentes. Modificada por el autor (Cadena Agroindustrial del Etanol).



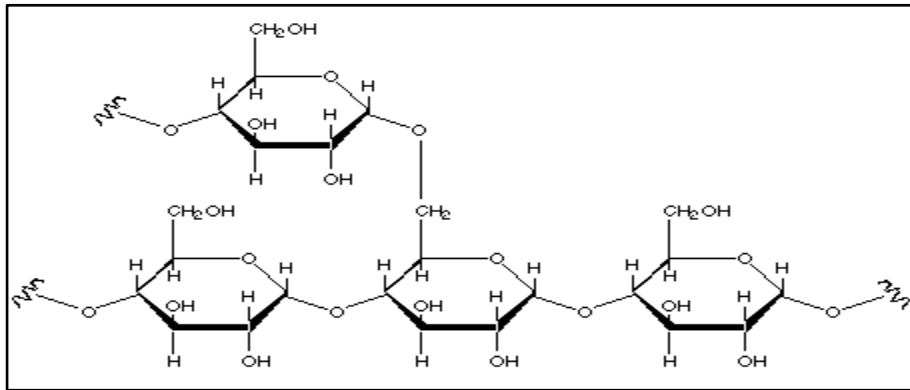
2.1.2 El almidón de papa como sustrato

El almidón es una mezcla de dos polímeros de glucosa. Estos polímeros son inicialmente encerrados dentro de un gránulo de almidón semicristalino, los cuales son sintetizados mediante los procesos de fotosíntesis. La amilopectina (Figura 2.2) es una macromolécula ramificada en la que las unidades de glucosa anhidra (D-glucosa) están principalmente unidas por enlaces $\alpha(1-4)$ cuando forman parte de cadenas lineales y por

enlaces $\alpha(1-6)$ cuando actúan como nexo de unión entre dos cadenas para formar ramificaciones, se estima un promedio de peso molecular cerca de $108A^\circ$.

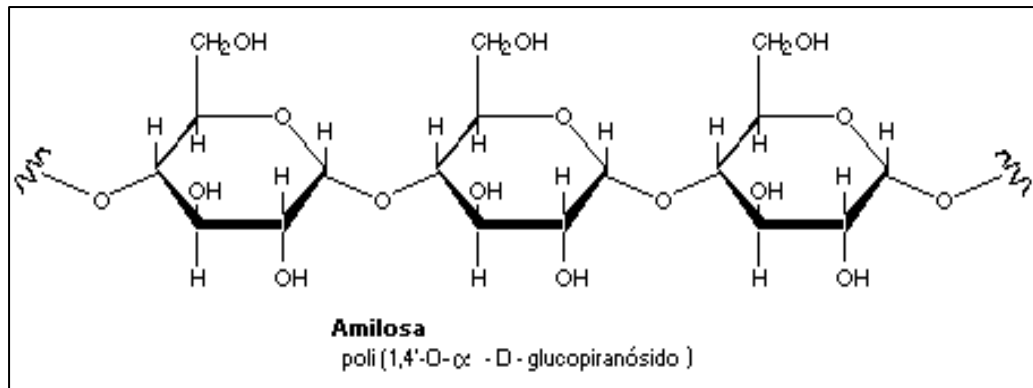
De otra parte, la amilosa, es el otro polímero, conformado mediante una α -D- 1,4 – glucana (Figura 2.3) cuya unidad repetitiva es la α -maltosa, su peso molecular es aproximadamente de $105A^\circ$ (Boyer & Shannon, 1987; Badui, 2006; Hoover, 2001)

Figura 2.2. Estructura química de la amilopectina (Belitz & Grosch, 1997).



El peso molecular del almidón varía dependiendo de su fuente botánica, es así que también este factor incide en el grado de ramificación. Se reporta que típicamente se encuentra contenidos de amilosa entre un 25 a 35 % y de 65 a 75% de amilopectina. (Hoover, 2001) (Figura 2.3)

Figura 2.3. Estructura química de la Amilosa (Belitz & Grosch, 1997).



Dentro de la composición del almidón se encuentra que los lípidos hacen parte mediante la asociación con las fracciones de amilosa en contenidos superiores al 2 % en base seca (Tanaka, 2002; Tester, Karkalas, & Qi, Starch - composition, fine structure and architecture, 2004). Además es posible encontrar otros compuestos grasos sobre la superficie de la partícula de almidón como triglicéridos, glicolípidos, fosfolípidos y ácidos grasos libres contaminantes de los almidones derivados de la membrana de los amiloplastos (Tester, Karkalas, & Qi, Starch - composition, fine structure and architecture, 2004).

Al igual, se encuentra dentro de la composición pequeñas cantidades de minerales como calcio, magnesio, fósforo, potasio y sodio, donde el componente principal corresponde a los monoésterfosfatos en concentraciones inferiores al 0.4% (Tester & Karkalas, Swelling and gelatinization of oat starches., 1999), (Tester, Karkalas, & Qi, Starch - composition, fine structure and architecture, 2004)

El contenido de proteína, la concentración de lípidos y las características de los alfa glucanos dentro del almidón, determinan la capacidad de hinchamiento del almidón, afectando las características reológicas de la emulsión (Debet & Gidley, 2006), principalmente durante la gelatinización debido a que la concentración de lípidos monoacíclicos inducen la formación de un complejo amilosa-lípido-proteína el cual restringe el hinchamiento y la dispersión de los gránulos disminuyendo la solubilidad de la amilosa lo que genera una baja viscosidad (Tester, Karkalas, & Qi, Starch - composition, fine structure and architecture, 2004; Debet & Gidley, 2006)

- **Extracción de almidón de papa**

Esta materia prima es sometida en primera instancia a una etapa de adecuación en la cual se separan materiales extraños (piedras, fibras, resto vegetales, entre otros) para luego ser transportada a recipientes rotatorios de lavado y pelado por aspersion, donde la suciedad y la cáscara o piel es removida (Rivier, Moreno, Alarcón, Ruíz, & Dufour, 2001). Los tubérculos limpios y pelados son llevados a los ralladores o molinos de cuchillas, en donde el efecto de corte libera los gránulos de almidón de la fibra.

De la mezcla, agua, almidón suspendido, solubles y fibra obtenida de la molienda, esta última es separada mediante el uso de separadores centrífugos como tamices rotarios o separadores de boquillas. La fase líquida proveniente de esta última extracción contiene el almidón suspendido y una fracción proteica la cual es retirada mediante lavado sucesivos del almidón hasta obtener una lechada característica. Esta lechada es concentrada y desaguada mediante centrifugación o filtros rotatorios (Talbert & Smith, 1975). El almidón con un contenido mínimo de agua libre es posteriormente llevado a la operación de secado.

2.2 Hidrólisis del almidón

Se denomina hidrolizados de almidón, a todos los productos obtenidos del fraccionamiento del almidón, independientemente de los catalizadores usados (ácidos, enzimas) o del grado de este fraccionamiento. Incluyen un importante número de productos diferentes como glucosa, maltosa, maltotetraosa, maltodextrinas, fructosa, ciclodextrinas, dextrinas, etc. Los hidrolizados presentan propiedades físicas, funcionales, energéticas y organolépticas que son características de cada tipo de producto (Douglas-Crabb & K-Shetty, 1999; Bugg, 2004; Castellanos, Ramirez, & Montañez, 2006).

2.2.1 Método químico

El almidón tratado con ácidos se rompe en cadenas cortas de dextrina. El grado de degradación depende de la concentración del ácido, la temperatura, y el tiempo de hidrólisis. Es así que pueden subdividirse en la acción de ácido sulfúrico que produce la llamada amilodextrina y ácido clorhídrico (usualmente usado a temperaturas

ligeramente encima de la ambiente) que conducen generalmente a los almidones linterizados (Fennema, 2000).

2.2.2 Método enzimático

Los avances en la investigación sobre la hidrólisis enzimática del almidón, han evidenciado que es una técnica eficaz que permite comprender mejor la estructura del gránulo de almidón y obtener una serie de productos que se emplean en diferentes industrias. El gránulo de almidón se organiza en áreas amorfas y en regiones de cristalinidad superior e inferior y la transición entre ellos es gradual. El área cristalina está constituido por fracciones lineales de amilopectina, mientras que los puntos de ramificación y amilosa son los componentes principales de las zonas amorfas (Oates, 1997).

La selectividad de las enzimas sobre los almidones se han atribuido a la interacción de diversos factores, como : la fuente de almidón, el tamaño del gránulo: gránulos de menor diámetro son más susceptibles a las enzimas que las de mayor diámetro debido a su mayor área superficial (Tester, Qi, & Karkalas, Hydrolysis of native starches with amylases., 2006), la extensión de la asociación entre los componentes del almidón, el porcentaje (%) de amilosa y amilopectina, la cristalinidad, tipo polimórfico (A, B, C), amilosa -lípidos complejo, tipo de enzima, y las condiciones de hidrólisis (concentración, pH, temperatura) (Oates, 1997; Tester, Qi, & Karkalas, Hydrolysis of native starches with amylases., 2006).

Así mismo, las reacciones que se presentan, se llevan a cabo de forma acelerada, desde el punto de vista fisicoquímico y como consecuencia de su estructura proteica, por último, la actividad catalítica depende del pH y de la temperatura de reacción, característica que resulta de fundamental importancia en una aplicación industrial (García, Quintero, & López, Biotecnología Alimentaria., 1993).

Las variables que influyen en la cinética de reacción del almidón son: el tipo de catalizador, la temperatura de proceso, la relación sólido – líquido, el diámetro y cristalinidad de la partícula las cuales involucran la relación de amilosa/amilopectina, y el contenido de lípidos y proteínas (Debet & Gidley, 2006; Tester, Karkalas, & Qi, Starch - composition, fine structure and architecture, 2004).

2.3 Enzima

Las enzimas se definen según Montes & Magaña (2002), como catalizadores biológicos, es decir, proteínas que tienen la capacidad de acelerar ciertas reacciones químicas (García, Quintero, & López, Biotecnología Alimentaria., 1993). Una de las principales ventajas de las enzimas, además de las de índole económica o biotecnológica, está asociado a su gran especificidad de acción que hace que no se produzcan reacciones laterales imprevistas. De esta manera, permiten ser empleadas en condiciones moderadas: presión atmosférica, temperaturas bajas o medias y pH de 3 a 10. Además las enzimas pueden inactivarse fácilmente cuando se considera que han cumplido su objetivo (Montes & Magaña, 2002).

2.3.1 Factores que afectan la velocidad de las reacciones enzimáticas

La velocidad a la que las reacciones enzimáticas proceden depende de varios factores, dentro de los cuales se debe tener en cuenta: el pH del medio de reacción, la temperatura, la concentración de sustrato y de enzima y la temperatura de final a la cual se inactiva la enzima (Badui, 2006; Garcia, Quintero, & López, Biotecnología Alimentaria., 1993).

2.3.2 Enzimas que actúan en la hidrólisis del almidón

Los almidones pueden sufrir una degradación enzimática, de dos maneras principales mediante una reacción exo de las exoenzimas, las cuales remueven una unidad del polímero de alguno de sus extremos, mientras que las endoenzimas tienen la capacidad de romper enlaces internos en cualquier punto de la cadena del polímero (Badui, 2006).

- **α -amilasa**

La α -amilasa, es denominada endo-amilasa ó α (1-4) D-glucano hidrolasa, la cual hidroliza al azar los enlaces α (1-4) del almidón gelatinizado, provocando una drástica disminución de viscosidad (licuefacción) y generando una distribución de productos de bajo peso molecular, entre estos se incluye las α -dextrinas, así mismo, se caracteriza porque no puede hidrolizar los enlaces α (1-6) de la amilopectina, componente del almidón de papa. Del mismo modo, se llegan a producir cantidades importantes de azúcares (glucosa, maltosa y maltotriosa), su acción permite que se presente un desdoblamiento en primera instancia del almidón, disminuyendo rápidamente la viscosidad, formando maltodextrina como producto más pequeño (García, Quintero, & López, Biotecnología Alimentaria., 1993).

- **Amiloglucosidasa**

La amiloglucosidasa (Alfa-1,4- D-Glucanglucohidrolasa) es una exohidrolasa, 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 (Mera & Carrera, 2005), siendo exclusivamente de origen microbiano. (García, Quintero, & López, Biotecnología Alimentaria., 1993). Su acción prolongada puede causar la hidrólisis total del almidón, por lo que se emplea en la fabricación los jarabes de glucosa, actualmente se obtiene a nivel industrial a partir de *Aspergillus niger* y de *Rhizopus delemar* (Byong, 2000).

2.4 Fermentación

Una fermentación es una reacción de oxidación-reducción interna equilibrada en la que algunos átomos de la fuente de energía (donador de electrones) se reducen mientras otros se oxidan (Brock & Madigan, 2004) , y la energía se produce por fosforilación a nivel sustrato. Una ruta bioquímica muy usada para la fermentación de la glucosa es la glucólisis, también denominada vía de Embden-Meyerhof en atención a sus descubridores (Brock & Madigan, 2004).

El tipo de fermentación más importante, es la fermentación alcohólica, en la que los azúcares simples como por ejemplo la glucosa se convierten en alcohol etílico y dióxido de carbono. Ejemplos de fermentaciones alcohólicas pueden ser la elaboración de bebidas alcohólicas como cerveza, vino, whisky, también se están produciendo

actualmente a escala comercial mediante distintas fermentaciones, productos como la glicerina, propanona, butanol o ácido butírico (Fennema, 2000).

2.4.1 Proceso de fermentación

Durante las primeras 12 a 24 h, las células de levadura se multiplican rápidamente en condiciones aerobias consumiendo el oxígeno presente en la mezcla. En la fase intermedia (12 a 48 h) ocurre la formación principal de alcohol con la post-sacarificación de los oligosacáridos, mientras que la multiplicación de las levaduras decae, acompañada de la liberación de calor que se manifiesta por un aumento de la temperatura hasta los 40 °C. Finalmente, se produce un descenso asintótico de la formación de etanol, acompañado de un crecimiento insignificante de las levaduras en la fase final (48 a 72 h). El etanol mezclado con el CO₂ procedente de la fermentación se recupera mediante un proceso de lavado (García, Quintero, & López, Biotecnología Alimentaria., 1993).

El tiempo de fermentación puede acortarse de 36 a 48 h utilizando una temperatura más elevada y aumentando la siembra de levaduras. Como se considera imposible conseguir unas condiciones asépticas mediante la completa esterilización de un volumen tan alto de mezcla de fermentación, normalmente la fermentación en discontinuo se realiza sin alcanzar la esterilización completa del medio ni del equipo. En ocasiones, ocurre alguna contaminación por bacterias ácido-lácticas, reduciendo el rendimiento en etanol hasta un 20%. Esta contaminación es más frecuente cuando se utiliza una tolva de sedimentación, ya que se acumulan los microorganismos contaminantes y terminan por aclimatarse a las condiciones de fermentación. (García, Quintero, & López, Biotecnología Alimentaria., 1993)

2.4.2 Sistemas de fermentación

Las fermentaciones industriales emplean frecuentemente, por motivos económicos, substratos muy complejos. Las consecuencias de esto para el desarrollo de las cepas y el control de la fermentación son los siguientes:

- Es obligatorio un medio de cultivo óptimamente equilibrado para conseguir la máxima producción.
- La composición de los medios de cultivo debe ser constantemente adaptada al proceso de fermentación.
- En las fermentaciones de prueba en el laboratorio, debe examinarse tanto el rendimiento del producto como la recuperación del mismo.
- Si la represión catabólica o la represión por fosfato no pueden ser eliminadas por optimización de los nutrientes del medio o por manejo adecuado de la fermentación, deben utilizarse como cepas de producción mutantes desreglados.

La industria emplea dos sistemas de fermentación, que son:

- **Sistema discontinuo.**

Se operan inicialmente de forma aeróbicamente para obtener la máxima biomasa, ya que si las condiciones anaerobias comienzan demasiado pronto la densidad de población del

microorganismo, no será suficientemente alta para obtener una buena velocidad de conversión.

- **Sistema continuo.**

El crecimiento óptimo de levaduras y producción de etanol se lleva a cabo con limitación de azúcar de 1 g/l y en un ambiente micro aeróbico de 0.2-5 mg O₂/g materia seca y húmeda.

2.4.3 Microorganismo: levadura

La especie *Saccharomyces cerevisiae*, es un microorganismo eucariótico, perteneciente al reino fungí, de tipo unicelular; es una levadura facultativa, es decir, su componente enzimático y rutas metabólicas utilizadas le permiten habitar en ambientes aerobios como anaerobios. Este microorganismo, es uno de los más utilizados a nivel industrial, ya que participa en muchos procesos de fermentación.

En el caso de la fermentación de azúcares a etanol, fermenta eficientemente los azúcares de seis carbonos a etanol. Pero, además, de hexosas como la glucosa, también produce pentosas como la xilosa. Sin embargo, estos azúcares de cinco carbonos, esta levadura no los puede utilizar como fuente de carbono. Lo cual se traduce, en una disminución del rendimiento del proceso ya que una parte de los azúcares presentes en la biomasa son de esta característica (Calderón, 2007).

2.4.4 Parámetros y condiciones de fermentación

Los principales parámetros a controlar en una fermentación alcohólica son en esencial pH, temperatura, concentración de azúcar, tolerancia a concentraciones de alcohol producido y constituyente del medio del cultivo, así como durante la propagación es esencial la inyección de aire que permita el crecimiento del microorganismo fermentador.

- **Requerimientos nutricionales**

Los requerimientos nutricionales mínimos que necesita *Saccharomyces cerevisiae* para su crecimiento son fuente de carbono – glucosa, fuente de nitrógeno: sulfato amónico, urea o aminoácidos, biotina, también llamada vitamina B8 o H y sales y elementos traza.

El carbono sirve como fuente de energía y como material constitutivo de la masa celular. El nitrógeno se encuentra en la célula formando parte esencial de las proteínas, aminoácidos y ácidos nucleicos; el fósforo se halla en los ácidos nucleicos, en la lecitina y en diversos compuestos fosforilados que participan activamente en los procesos de degradación oxidativa y de intercambio energético (ATP, ADP, AMP, NADP) (Ospina & Palacios, 1994).

- **Requerimientos ambientales**

El crecimiento y actividad de los microorganismos se ve afectados por las condiciones físicas y químicas de medio en el cual se desarrollan. Entre los factores de mayor relevancia se encuentran la temperatura, el pH, la disponibilidad del agua y de oxígeno entre otros. El crecimiento de la *S. Cerevisiae* se ve favorecido a pH entre 4.0 a 5.0. A pesar de tener una tolerancia amplia, esta se ve reducida por la producción de otras sustancias por la levadura, como son ácidos, que influyen en el crecimiento celular, producción de otros metabolitos y utilización de glucosa (García, Quintero, & López, Biotecnología Alimentaria., 1993).

La temperatura es el principal factor, la cual se encuentra en un rango de 30 a 35°C con una óptima de 32°C, dependiendo de la cepa de levadura empleada. El metabolismo aumenta su actividad paralelamente al aumento de la temperatura pero puede llegar a inhibir la levadura a temperaturas mayores a 37°C. El incremento de temperatura incrementa la probabilidad de desarrollo de microorganismos contaminantes que perjudican la fermentación (Calderón, 2007).

De igual manera, la concentración de sustrato, la producción de alcohol y el tiempo de fermentación son directamente proporcionales y dependen de los requerimientos y capacidad de la industria.

En cuanto al efecto inhibitorio del etanol, la mayoría de cepas empleadas para dicho proceso, soportan en promedio 9.5% v/v de alcohol en el vino, sin embargo esta concentración a nivel de planta industrial, solo se obtiene cuando las condiciones asépticas se garantizan durante los procesos (Calderón, 2007).

El oxígeno como elemento es requerido por la levadura para la síntesis de esteroides y ácidos grasos insaturados, componentes esenciales de sus membranas celulares, que le permiten en algunos casos soportar factores de estrés como temperatura, concentraciones de alcohol, sales, ácidos, azúcares entre otros. La *Saccharomyces cerevisiae* logra propagarse más eficientemente en condiciones aeróbicas. Cuando el medio se encuentra en ausencia de oxígeno y rico en niveles de glucosa se produce etanol (García, Quintero, & López, Biotecnología Alimentaria., 1993).

2. 5 Metodología

Con base en los resultados obtenidos en la caracterización de los almidones, se seleccionaron las variedades Parda Pastusa y Tuquerreña. En esta etapa se realizó la determinación de temperatura de gelatinización del almidón para las dos variedades seleccionadas, realizando los ajustes y por duplicado, así mismo para la hidrólisis enzimática se identifica las condiciones de operación según el protocolo establecido por Lezama (2006). (Lezama, 2006).

2.5.1 Determinación de temperatura de gelatinización del almidón

Se procedió a realizar el siguiente procedimiento: Se pesaron 352 gr de solución en una concentración de 42.69 % de almidón y 57.30 % de agua destilada. Posteriormente estas soluciones se licuaron durante 2 minutos a velocidad baja y se transfirieron a un Baker de 350 ml donde se corrigió el pH de las muestras con NaOH 0.1 N, hasta alcanzar un valor de 4,5 de acuerdo al estudio realizado por Lezama (2006). Posteriormente se calentaron las muestras procedentes de las variedades en dos planchas en un nivel de 5 de calentamiento y con agitación constante hasta obtener un gel consistente durante 20 minutos. Para determinar el tiempo de calentamiento se realizaron dos ensayos con repetición, con concentraciones diferentes, se tomaron datos de temperatura con la termocupla en cada ensayo a los 8, 20 y 30 min, respectivamente.

2.5.2 Hidrólisis enzimática del almidón

Se procede a realizar la hidrólisis mediante el uso de la enzima sobre la suspensión del almidón en las condiciones más favorables para llevar a cabo el proceso. A continuación se describen los procedimientos así:

- **Preparación de la dispersión de almidón**

Se toman 2 Kg de almidón de papa refinado, con una humedad del 10 %, y se dispersan en frío en 3,5 litros de agua potable, hasta alcanzar un volumen final de 5 litros. Se procede a ajustar el pH con HCl 1N hasta un valor de 5.5. Se ajusta la concentración de Ca²⁺ a 30 ppm mediante la adición de CaCl₂ 2H₂O grado analítico. La mezcla anterior se transfiere a un biorreactor B Braund ® de 5 litros, con control de temperatura, pH y velocidad de agitación con precisión de 0,1 ° C, 0,01 y 1 rpm, respectivamente.

- **Licuefacción del almidón**

Para llevar a cabo el proceso de licuefacción, se utilizó α -amilasa SIGMA -ALDRICH, que es una enzima bacteriana que se obtiene del *Aspergillus oryzae*, es una α -amilasa termoestable capaz de hidrolizar enlaces glucosídicos α -1,4 del almidón en forma aleatoria.

Se realizaron dos ensayos por duplicado siguiendo el siguiente procedimiento: en un Baker se pesó una solución con concentración de 42,69 % de almidón y 57,30 % de agua destilada. Teniendo en cuenta las temperaturas y los tiempos, se trabajó la gelatinización por 20 minutos. Se licuo la muestra dos minutos a velocidad baja y se transfirió a un beaker de 350 ml donde se corrigió el pH 4.5, con HCl 0.1 N y se adicionó la enzima α -amilasa.

Para la dosificación de la enzima comercial, la temperatura se tomó como base las especificaciones del catálogo SIGMA –ALDRICH. Los cálculos se realizaron de acuerdo a las especificaciones, los cuales corresponde a una dosis de 336,6 μ l, a una temperatura de 85°C por un tiempo de 90 minutos, agitación constante y a un pH de 6.

La cinética de licuefacción se monitorea a partir del momento en que se alcanza el equilibrio térmico; desde este momento se realiza seguimiento a la concentración de azúcares reductores por el método DNS (ácido 3,5 dinitro salicílico), por espacio de dos (2) horas, a intervalos de 0,5 horas de acuerdo a la metodología reportada por Castaño & Mejía (2008).

- **Sacarificación enzimática – fermentación independiente**

El proceso de sacarificación requiere de una segunda etapa después de la licuefacción del almidón, proceso que se efectuó con la enzima glucoamilasa fúngica SIGMA –ALDRICH obtenida a partir de *Aspergillus niger*. El proceso se llevó a cabo de acuerdo a las condiciones de temperatura, pH, acidez, °Brix.

Concluido el proceso de pre sacarificación, se ajustó a pH a 4.5 con HCl 0.1 N .Para la dosificación de la enzima comercial se tomó como referente las especificaciones del catálogo SIGMA –ALDRICH. Los cálculos se realizaron con base en almidón seco. De acuerdo a lo anterior, se adicionó 340.6 μ l de enzima de glucoamilasa al sustrato a una temperatura de 50°C con agitación constante. El tiempo como variable, se trabajó de acuerdo a los estudios referenciados por Lezame (2006) y se ajustado para el caso. Se tomó dos muestras de 4ml cada una, estas se centrifugaron durante 20 min a una temperatura de 4°C a 500rpm en los tubos plásticos y posteriormente se analizaron en el espectrofotómetro para medir el contenido de azúcar en las muestras y cuantificar en equivalentes de dextrosa (ED).

- **Medios de cultivo.**

Los medios de cultivo para los inóculos fueron preparados con glucosa 2 %, extracto de levadura 0.5%, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0,1 %, KH_2PO_4 0,1%, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,05 %. Se preparó medios con concentraciones de 20 g/l de azúcares reductores.

2.5.3 Fermentación

La etapa de fermentación fue realizada por duplicado, para las dos variedades Parda Pastusa y Tuquerreña. Se tomó 775gr proveniente de la etapa anterior correspondiente a un volumen de 1500 ml de jarabe de glucosa. Se licuó por 2 minutos a baja velocidad. Se procedió a esterilizarlo en autoclave a 15 psi y a una temperatura de 120°C por 15 minutos.

Esta solución se diluyó con agua estéril y se ajustó a una concentración de 12° Brix y a una temperatura de 30°C, inmediatamente se le agregaron 2 g/l de NH_4NO_3 , 1 g/l de MgSO_4 , 1 g/l de K_2HPO_4 y 2 g/l de extracto de levadura metodología empleada por (González Fernandez & Molina Córdoba, 2006).

Una vez finaliza el proceso de licuefacción, el sistema se lleva a las condiciones de operación de los procesos simultáneos (temperatura de 30.0 ± 0.1 °C y a pH de $4,50 \pm 0.01$), mediante enfriamiento con agua potable a través de la chaqueta del biorreactor y adición de HCl 1.0 N. El producto de la licuefacción se suplementa con $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 6.0 g/l, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 2.0 g/l y KH_2PO_4 3.0 g/l, respectivamente. En este momento se adiciona la enzima Spirizyme fuel® de acuerdo a los resultados previos. Después de la adición de la enzima, se procede a la adición del inóculo de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* marca InstantYeast, en un volumen correspondiente al 10% del volumen útil del biorreactor.

El inóculo se prepara en el hidrolizado de la licuefacción, enriquecido con las sales descritas en la preparación y activado durante cuatro horas, a 30.0 ± 0.1 °C, en un agitador orbita la 110 ± 1 rpm, a partir de la adición de levadura *Saccharomyces cerevisiae* granulada, se determinó la concentración de (azúcares reductores) mediante lectura de °Brix a través del refractómetro y se ajustó para garantizar el proceso de fermentación.

El tiempo empleado para la fermentación fue de 32 horas. Una vez terminado el tiempo de fermentación se inactivó la levadura por centrifugación a 10000 rpm por 30 minutos. La fermentación se llevó a cabo en un reactor de 5 L, el cual tiene un sistema de agitación, calentamiento y/o enfriamiento y puerto para toma de muestras. Para el seguimiento del proceso se midió la concentración de etanol, azúcares reductores, con el fin de mantener la eficiencia en el proceso.

2.5.4 Destilación

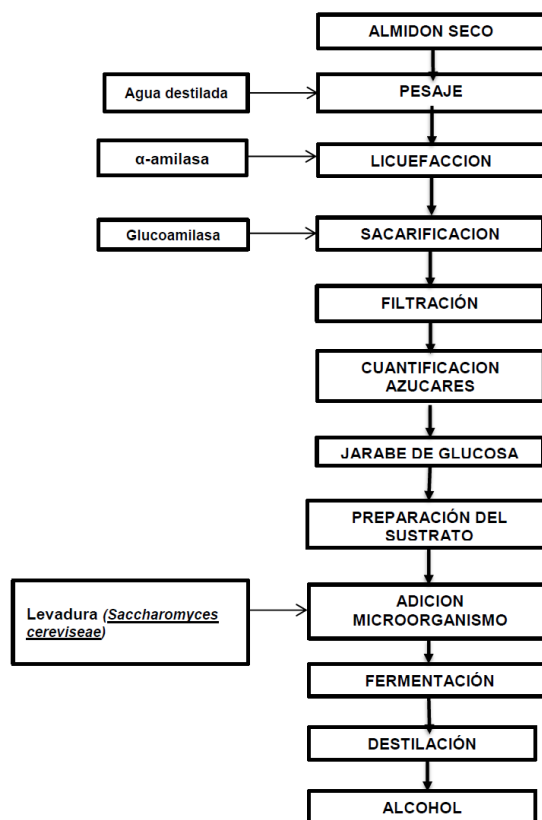
Se obtiene el alcohol que ha sido producido en la fermentación, el cual no es puro por tener acompañantes no alcohólicos, como son ácidos, esteres, aldehídos, furfural,

alcoholes superiores y otros que acompañan al alcohol etílico, Se usa destilación por arrastre de vapor para la separación.

2.5.5 Balance de masa

Realizado el proceso de obtención de bioetanol bajo condiciones de laboratorio se procedió a realizar un balance de masa con base de cálculo en 1000 Kg, con el fin de conocer los rendimientos para los almidones de papa seleccionados y evaluar la producción de etanol bajo las condiciones de laboratorio (Figura 2.4) a partir de estas materias primas.

Figura 2.4.Diagrama de flujo del proceso de obtención de etanol a partir de almidón de papa a nivel de laboratorio.



2.6 Discusión de resultados

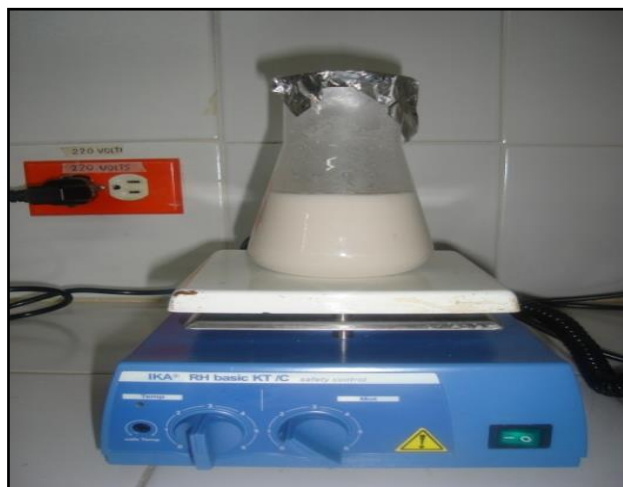
Para el desarrollo experimental de los procesos se dividió en dos etapas:

1. Análisis y evaluación de las condiciones de hidrólisis enzimática para la obtención de jarabe de glucosa, como sustrato para obtención de bioetanol.
2. Obtención y evaluación del bioetanol.

2.6.1 Temperatura de gelatinización del almidón de papa

La temperatura inicial de gelatinización de los almidones de papa varía de una variedad a otra. Se observó que al realizar la solución al 42,69 % de almidón, el almidón no se disuelve, se mezcla con el agua al ser agitado, pero luego se precipita y presenta una coloración blanca (lechosa) como se observa en la Figura 2.5. Luego al ser sometido a calentamiento progresivo y transcurrido 8 minutos a una temperatura de 57°C para las variedades de Pardo Pastusa y Tuquerreña, se percibieron cambios en la viscosidad y transparencia. A los 20 minutos se registró una temperatura de 65°C para la ICA Única y ICA Puracé, donde la solución adquirió una consistencia de gel con alta viscosidad. Para el caso de la variedad Diacol Capiro la temperatura en la cual ocurre un cambio en la solución, se apreció a los 68°C evidenciando un aumento en la viscosidad. En el caso del almidón procedente del Clon Marenga, se inicia a los 45 °C, siendo la temperatura más baja de los almidones analizados. Estos valores de temperatura están en concordancia con los rango reportados en la literatura para el almidón nativo de papa entre 56 °C y 67 °C (Lideboom, Chang, & Tyler, 2004).

Figura 2.5. Solución de almidón de papa pre gelatinizado.



2.6.2 Pretratamiento del almidón

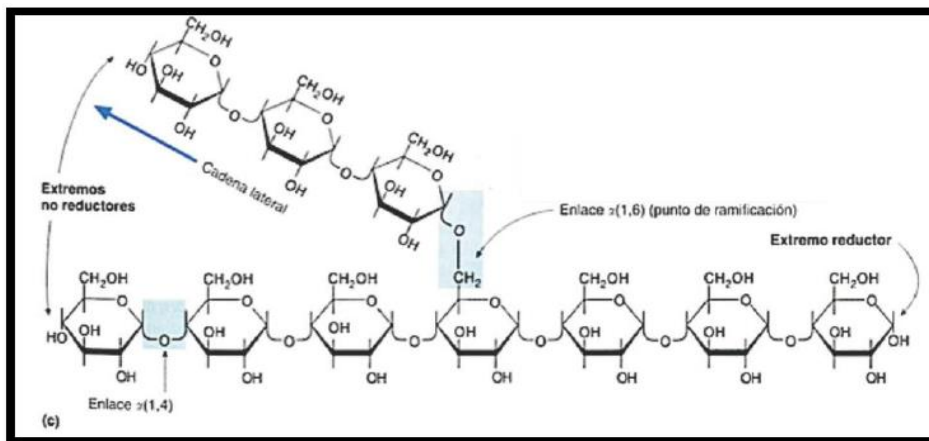
En esta primera etapa se denomina proceso de licuefacción, (Figura 2.6), donde se forman numerosos productos a consecuencia de la degradación del almidón que ocupan la escala intermedia de mediano peso molecular entre el almidón y los oligosacáridos (jarabes), que en una segunda etapa se obtendrán. En la licuefacción, la enzima α -amilasa¹, es capaz de separar los enlaces 1-4 de amilosa y amilopectina, cortando de 2 en 3 unidades de glucosa, para dar el disacárido maltosa (Alvis, Vélez, Villada, & Rada-Mendoza, 2008).

¹ Ficha técnica de la enzima α -amilasa. (Anexo A)

Figura 2.6. Almidón de papa hidrolizado.

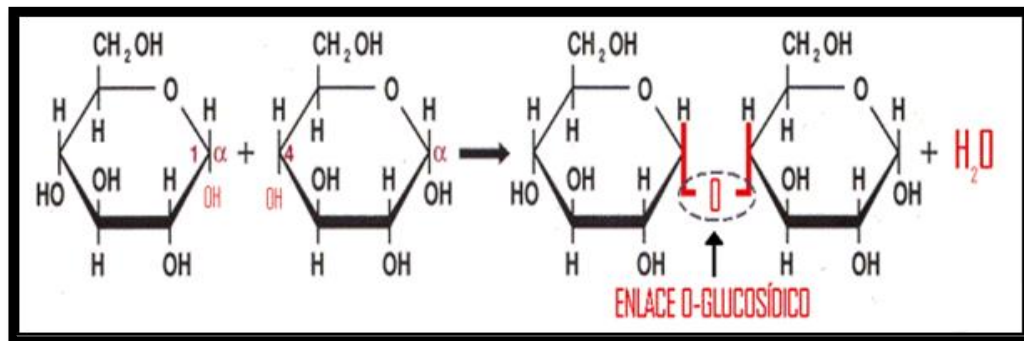


Figura 2.7. Acción de la α -amilasa sobre el almidón en la licuefacción (uhu, 2004).



La amilosa se divide totalmente a maltosa (Figura 2.7), sin embargo la amilopectina sólo se separa parcialmente, ya que la α -amilasa es incapaz de romper los enlaces 1-6. El resultado de la acción de la enzima sobre la amilopectina (Figura 2.8) es una hidrólisis parcial que rinde maltosa y el núcleo ramificado que queda y que recibe el nombre de dextrinas (dextrinas límite).

Figura 2.8. Acción inicial de la α -amilasa sobre las cadenas ramificadas de la molécula de almidón (Fernández Sevilla, 2004).



La acción de la amilasa proveniente del *Aspergillus oryzae* agregada al sustrato presentó una mayor actividad a un pH de 5.3-5.5 en tampón de hidróxido de calcio al 0.1 % dando como resultado un porcentaje de azúcares reductores de 5.98 % para la variedad Parda Pastusa (Figura 2.9) y de 3.7 % para la variedad Tuquerreña (Figura 2.10). Esta diferencia se debe a que la eficiencia de la α -amilasa siempre va a ser más favorecida a concentraciones mayores de amilosa. Así, al analizar los resultados obtenidos en cuanto al porcentaje de amilosa se refiere, el obtenido de la variedad Parda Pastusa es de $18,64 \pm 0,06$ siendo mayor que el obtenido para la variedad Tuquerreña, el cual corresponde a $18,13 \pm 0,20$.

Figura 2.9. Licuefacción del almidón proveniente de la variedad Parda Pastusa. Acción de la enzima α -amilasa.

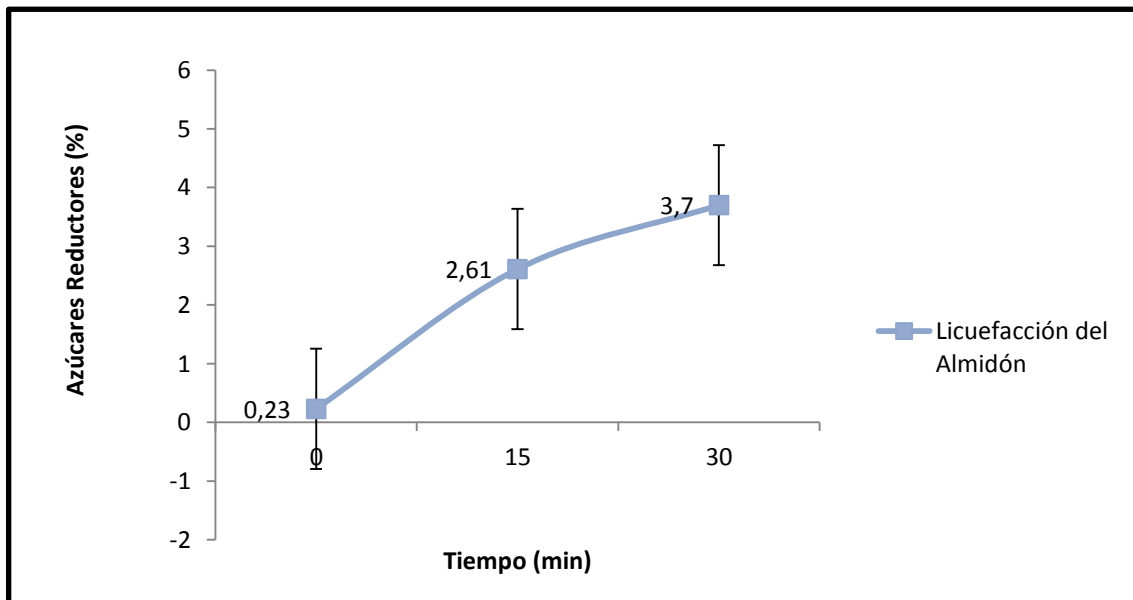
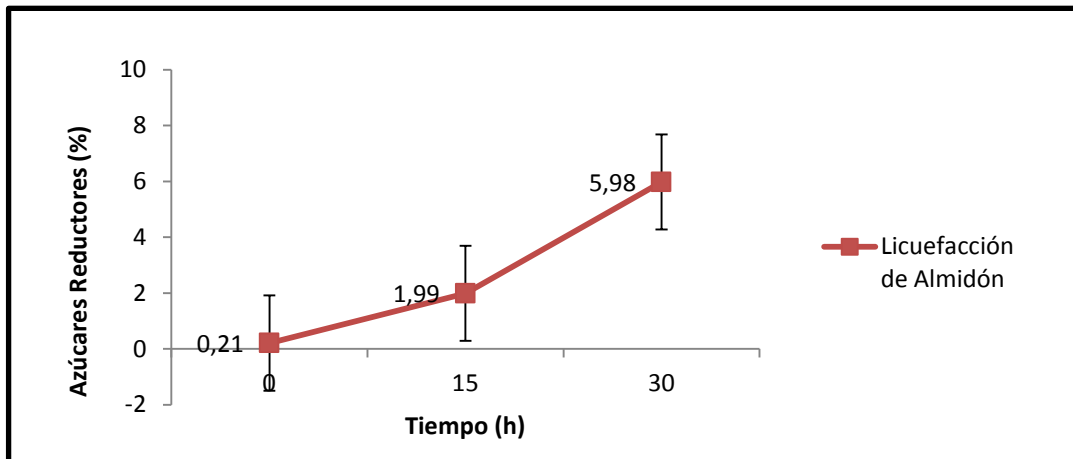


Figura 2.10. Licuefacción del almidón proveniente de la variedad Tuquerreña. Acción de la enzima α -amilasa.



- **Sacarificación del almidón.**

Llevado a cabo el proceso de licuefacción es necesario agregar al sustrato parcialmente hidrolizado la glucoamilasa² para escindir los enlaces 1-6 de la amilopectina, ya que la α -amilasa es también incapaz de romper los enlaces α 1-6 de la amilopectina, lo que permite un aprovechamiento más completo del almidón. Este proceso enzimático se denomina: sacarificación.

La α -amilasa es una endosacaridasa (por lo tanto no puede atacar a un polímero por sus extremos) que rompe exclusivamente enlaces de tipo α -1,4, mientras que la glucoamilasa es una exosacaridasa, que no solo puede atacar al almidón por los extremos de sus cadenas, sino que puede romper enlaces α -1,4 y α -1,6. Esto deja entender claramente que la α -amilasa actúa principalmente sobre la cadena principal, mientras que la glucoamilasa tiene una función desramificadora que puede colaborar en la ruptura de cadenas lineales (Bello-Pérez, Sánchez, Moreno, & Toro, 2002). Para las dos enzimas el mecanismo de acción es el mismo. Las hifas fúngicas penetran, mediante enzimas líticas, en el almidón (Fernández Sevilla, 2004).

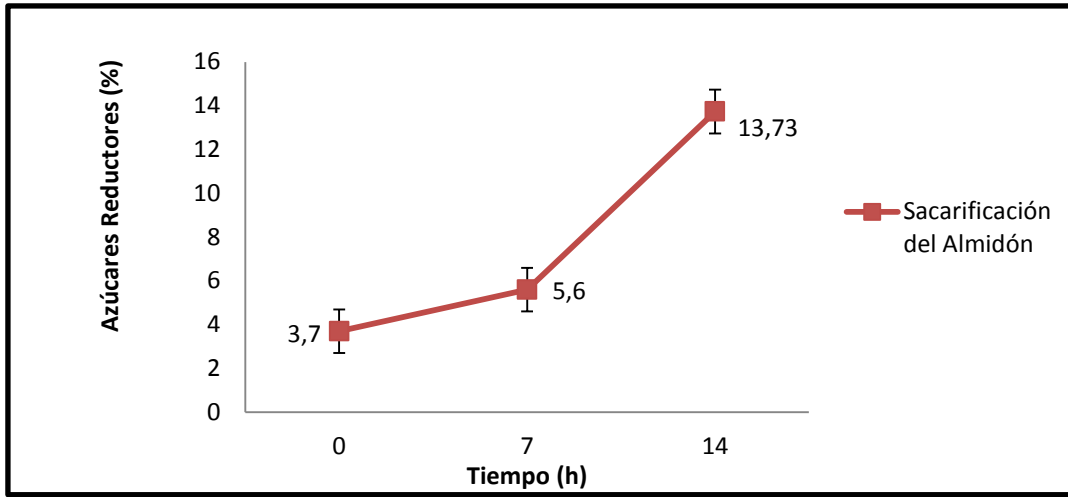
En primer lugar, la glucoamilasa empieza atacando por los extremos y a las cadenas ramificadas, mientras que la α -amilasa ataca a las cadenas por el medio, creando productos intermedios, que a su vez son atacados por la α -amilasa. Al final, solo quedan maltosas que la α -amilasa rompe, obteniendo así α -D-glucosa (Fernández Sevilla, 2004).

La acción de la glucoamilasa proveniente del *Aspergillus niger* agregada al hidrolizado producto de la licuefacción presentó una mayor actividad a un pH de 4,4 a 4,6 en tampón de ácido HCl al 0,1 N dando como resultado un porcentaje de azúcares reductores de 13,01 %, 10,06 % para la variedad Pardo Pastusa y Tuquerreña respectivamente.

²Ficha técnica de la glucoamilasa. (Anexo B).

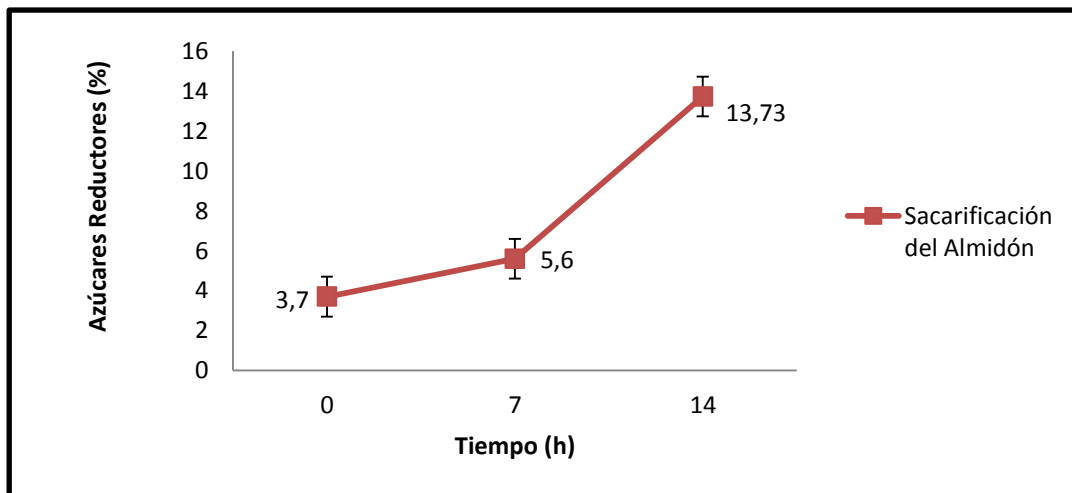
Este resultado reafirma lo anterior, mostrando que en la variedad Parda Pastusa la hidrólisis se lleva de manera más eficiente debido a los valores obtenidos de amilopectina, los cuales corresponde a $81,34 \pm 0,03$, siendo más difícilmente en la variedad Tuquerreña debido a que la cantidad de enlaces α 1-6 de amilopectinas es mayor, obteniéndose un valor de $81,87 \pm 0,20$, en porcentaje respectivamente.

Figura 2.11. Sacarificación de la variedad Parda Pastusa: acción de la enzima glucoamilasa sobre el almidón.



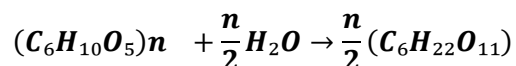
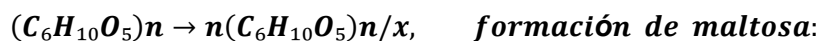
De esta forma, el mayor porcentaje de azúcares reductores obtenidos para los dos tipos de variedades analizadas (Figura 2.11 y Figura 2.12) fue a una concentración de 0.8 mL/kg sustrato de enzima en solución al 40% de almidón, empleado con un tiempo de hidrólisis para la α -amilasa de media hora y para la glucoamilasa de 14 horas. Esto, corroborando los resultados de otros estudios previamente realizados (González Fernández & Molina Córdoba, 2006).

Figura 2.12. Sacarificación del almidón proveniente de la variedad Tuquerreña: acción de la enzima glucoamilasa.

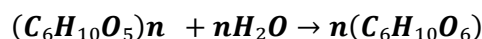


Según los análisis realizados previos a la hidrólisis: Composición química del almidón, análisis físico y análisis instrumental, se pudo comprobar que: en el caso de la α -amilasa, se observa que alcanza una actividad máxima para un pH de 4,7 y una temperatura de 55 °C. Para la glucoamilasa, por el contrario, el pH óptimo es de 4, tendiendo a 4,7 una actividad equivalente al 70 % de la actividad máxima, y la temperatura óptima 75 °C, dado que se trata de un enzima inestable a altas temperaturas, el límite para aplicaciones prácticas se halla alrededor de los 60 °C (González Fernandez & Molina Córdoba, 2006).

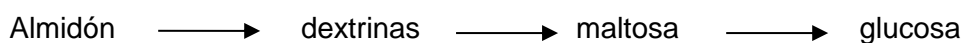
Las principales reacciones que ocurren durante la hidrólisis por acción de las amilasas son formación de dextrinas de acuerdo a la Ecuación 2-2:



Y en menor proporción formación de glucosa: (2-2)



En general, en la hidrólisis del almidón de papa ocurren las siguientes etapas:



Al evaluar las concentraciones de materia prima y de las enzimas α -amilasa y glucoamilasa, así como el tiempo de sacarificación, se identificó la combinación de estas variables que provocaran la mayor conversión de azúcares reductores, dado que el jarabe obtenido fue el sustrato para la etapa de fermentación.

- **Caracterización del jarabe glucosa.**

La caracterización del jarabe es un parámetro muy importante para evaluar las posibles aplicaciones de maltodextrinas en los alimentos. En la Tabla 2.2 se presenta la composición química de los jarabes de glucosa obtenidos a partir de las variedades de Parda Pastusa y Tuquerreña. Los hidrolizados obtenidos corresponden a un líquido poco viscoso de color amarillo claro cristalino de sabor y olor característico Figura 2.13.

Figura 2.13. Jarabe de Glucosa obtenido a partir de almidón de Papa.



El porcentaje de sólidos presentes en los jarabes de glucosa así como la viscosidad fueron inferiores al valor estándar recomendado para este tipo de productos según la ficha técnica de la glucoamilasa³ con la cual se comparó el hidrolizado. Dicha diferencia se debe a las características de las materias primas de donde provienen los almidones, así mismo son jarabes que no fueron concentrados pues reportaron una humedad del 62.70 % para la Parda Pastusa y 65.75 % para la Tuquerreña.

Tabla 2.2. Caracterización del jarabe de glucosa obtenido a partir de las dos variedades seleccionadas: Parda Pastusa y Tuquerreña.

ANÁLISIS	VARIEDAD		TECNICA DE ANALISIS
	PARDA PASTUSA	TUQUERREÑA	
Acidez (% Ácido Láctico)	0,45	0,34	*ISI 11-1e Acid Factor of Starch
pH	4,54	4,42	
% Sólidos Solubles (° Brix)	37,8	35	Método Refractómetro
Viscosidad (Cps)	105	88,8	*ISI. 2002. <i>Determination of viscosity of starch by Brookfield.</i> ISI 17-1e. In: <i>Laboratory methods.</i> Science Park, Aarhus, Dinamarca, International Starch Institute (ISI).

³ Ficha técnica de la glucoamilasa (Anexo B).

% Azúcares Reductores	13,01	10,6	*ISI 27. Reducing Power by Lane and Eynon method
% Equivalente de Dextrosa (ED)	30,96	34,85	ISO 5377:1981 Starch hydrolysis products - - Determination of reducing power and dextrose equivalent -- Lane and Eynon constant titre method

* Normas ISI: disponible en <http://www.starch.dk/isi/methods/index.htm>

En cuanto al porcentaje Equivalente Dextrosa (%ED), los valores reportados por la ficha técnica comercial al ser comparado con los jarabes de glucosa, se infiere que están dentro de los indicados por la ficha, sin embargo, son más bajos que el estándar mínimo recomendado para un jarabe de glucosa el cual es del 58 %. De acuerdo a lo reportado en la Tabla 2.2, también se puede deducir que el rendimiento y la eficacia en cuanto al porcentaje equivalente dextrosa (ED) para los dos hidrolizados fue mayor en el almidón extraído de la variedad Tuquerreña que el del almidón extraído de la variedad Parda Pastusa los cuales fueron de 34,85 % y 30.96 % respectivamente.

Luego de caracterizar el jarabe producto de la hidrólisis del almidón de papa, se llevó a fermentar y se evaluó la cinética de dicha fermentación alcohólica. Para ello, se realizó un monitoreo de la concentración de alcohol y azúcares reductores por un período de tiempo de 32 h. Los valores que se grafican son promedios Figura 2.15.

2.6.3 Obtención de etanol a partir de la hidrólisis de almidón de papa

Las dos variedades de papa seleccionadas para realizar el proceso de obtención de etanol fueron: la Parda Pastusa y la Tuquerreña. Esta elección se realiza teniendo en cuenta los resultados de porcentaje (%) de rendimiento de almidón, porcentaje (%) de amilosa y amilopectina, temperatura de gelatinización, condiciones necesarias para la eficiencia en la hidrólisis y para el proceso de producción de etanol.

- **Condiciones de hidrólisis del almidón.**

Se preparó una solución de almidón al 42,69 % ya que al mezclarse con agua, como también con el agente enzimático (α -amilasa), el almidón comienza a hincharse y así permite una penetración de la enzima en los gránulos de acuerdo a los requisitos de hidrólisis en el sustrato. Se sometió a una temperatura de calentamiento entre 55 - 60 °C, debido a que el almidón de papa presenta la característica de licuarse antes de alcanzar la temperatura de gelatinización, pues la α -amilasa presenta una eficiente actividad a esta temperatura (Figura 2.14).

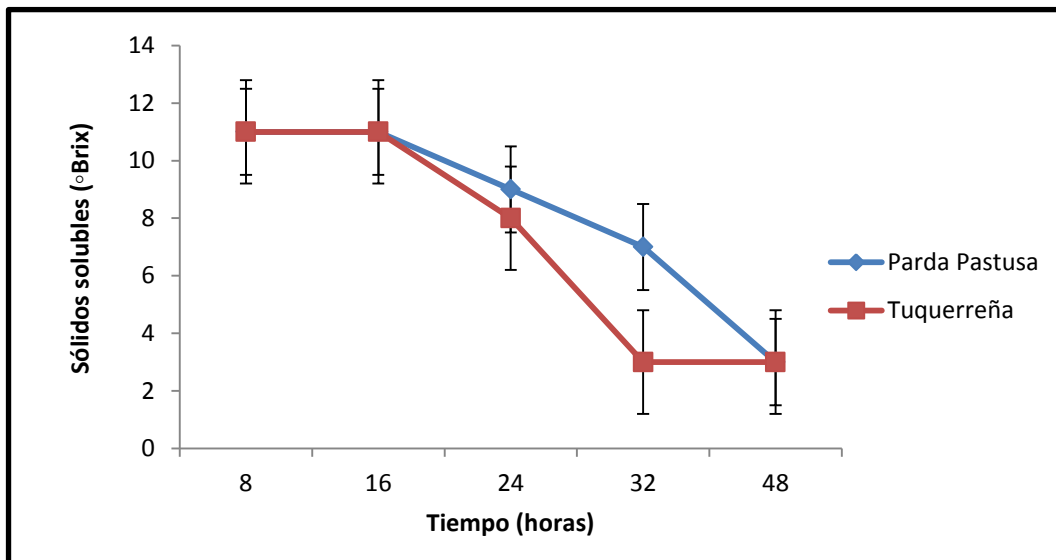
Figura 2.14. Hidrolizado de almidón de papa para la obtención del almidón.



• **Fermentación.**

En la Figura 2.15, se muestra la concentración de sólidos que hay presente en el mosto y comportamiento cinético frente a la actividad de producción de etanol por el microorganismo. Tanto en la variedad Parda Pastusa como Tuquerreña, se observa que la producción de etanol crece exponencialmente a partir de las 16 h, hasta alcanzar un máximo a las 32 h.

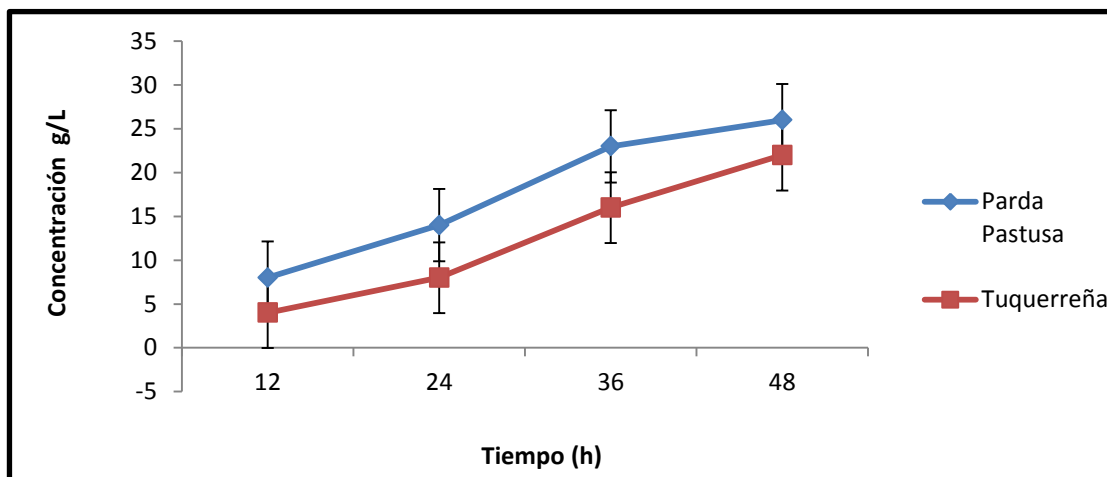
Figura 2.15. Concentración en el Mosto. Variación de azúcares reductores en el tiempo.



Se contrastaron las curvas en mención y se encuentra que al inicio del proceso de fermentación hay un lento consumo de azúcares reductores, que coincide con el inicio del crecimiento de microorganismos y donde la producción de alcohol es muy pequeña. Esto se debe a que al inicio del proceso hay una reducción de los sólidos solubles (°Brix) debido a que la *Saccharomyces cerevisiae* convierte a la hexosas como la glucosa en alimento, a su vez da inicio a la conversión del excedente en alcohol etílico y por lo tanto disminuye la concentración de sólidos solubles en el mosto.

De igual forma en la Figura 2.16, la concentración de alcohol se va incrementando a medida que pasa el tiempo de fermentación, observando la disminución de la disponibilidad de sólidos presentes en el mosto.

Figura 2.16. Concentración del mosto (g/L). Variación de la concentración de etanol obtenido en el tiempo.



• **Control de calidad del etanol obtenido**

El producto de la fermentación contiene entre 10 %y 12 % de etanol, así como residuos de la masa y levaduras. Este producto se destiló empleando una columna de destilación diferencial. Se evalúa la pureza en el etanol, después de la destilación, según lo reportado por algunos autores es alrededor de 95,6 % en volumen (López, 2011).

Tabla 2.3. Caracterización del etanol obtenido a partir de almidón de papa.

% DE ETANOL	INDICE DE REFRACCIÓN	° BRIX
10	1,339	4.5
20	1,343	6.5
22	1,343	7
25	1,346	9
28	1,347	9
X	1,344	6

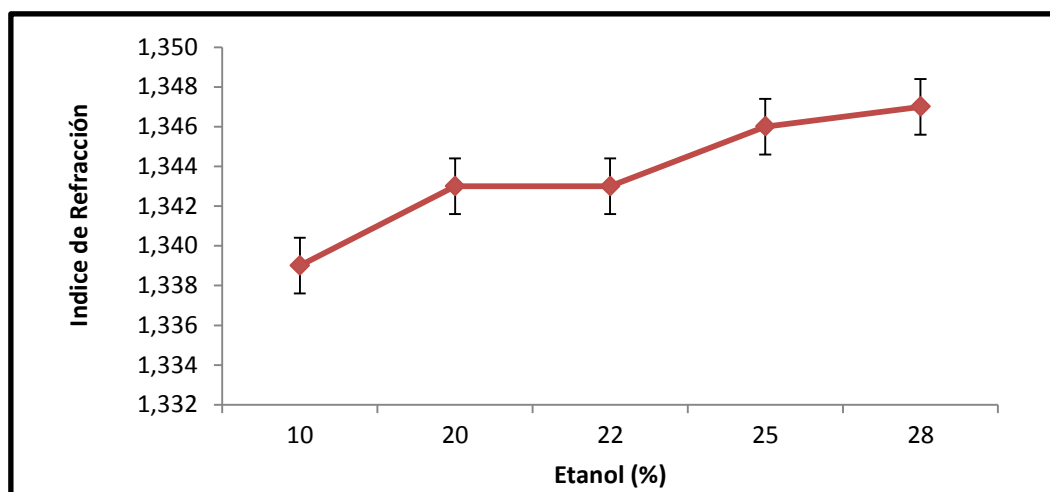
El etanol obtenido en el laboratorio es separado de los demás componentes que posiblemente podrían encontrarse en el producto obtenido (Metanol, acetaldehído, n-propanol, acetato de etilo, alcohol isobutílico o isoamílico y 2-butanol (González Fernandez & Molina Córdoba, 2006) mediante una destilación fraccionada como se observa en el Figura 2.17. Los residuos sólidos que precipitaron en el proceso de fermentación pueden ser procesados como sub-productos ricos en proteínas para otro tipo de agroindustria.

Figura 2.17. Montaje del sistema de destilación.



Para establecer si el etanol proveniente de la separación tenía las características propias, se realizó una curva de calibración (Tabla 2.3), con la cual se interpoló el valor leído en refractómetro. Los resultados obtenidos de este proceso se pueden observar en la Figura 2.18.

Figura 2.18. Curva de calibración del etanol.



La

densidad del etanol obtenido fue de $1,014 \text{ g/cm}^3$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ con una pureza del 94 % que, comparado con lo reportado en la literatura ($0,84 \text{ g/cm}^3$ para el etanol del 95,6%) (López, 2011), denota que no es totalmente puro; este resultado se debe posiblemente a que las condiciones empleadas en la hidrólisis y posterior fermentación del almidón de papa, sobre las variables de temperatura y acidez no fueron controladas durante todo el tiempo. Así mismo, según algunos autores, la mezcla obtenida presenta inconvenientes al momento de ser destilada (purificado) dado que es una mezcla azeótropa (López, 2011). Es decir, Una vez que se encuentra en una concentración de 95,5 % etanol/agua, los coeficientes de actividad del agua y del etanol son iguales, entonces la concentración del vapor de la mezcla también es de 95,5 % etanol/agua, por lo tanto las destilaciones posteriores son inefectivas. Se sugiere realizar un proceso que incluyen desecación

empleando adsorbentes como zeolitas o granos molidos, los cuales adsorben el agua preferiblemente (López, 2011).

De acuerdo a los resultados obtenidos se produce 81,85 L de etanol / tonelada de papa con una concentración del 42,5 % m/v de sustrato, se infiere que el rendimiento es bajo, dado que al ser comparado con los rendimientos de etanol reportado por González & Molina (2006) del proceso fue de 94,5 L de etanol/ tonelada de papa, utilizando una concentración de 20 % m/v de sustrato. Sin embargo es importante relacionar los resultados obtenidos con antelación dado que, no sólo el método de destilación empleado incidió en el valor obtenido, sino que está directamente relacionado con la genética del tubérculo, prácticas del cultivo, grado de madurez y frescura las cuales están claramente relacionadas con la procedencia del almidón y este con el contenido amilosa/ amilopectina, parámetros que determinan directamente la cantidad de etanol obtenido (Hoover R, 2002)(Jayakody, Hoover, Liu Q, & Toro, 2005).

Así mismo, el rendimiento teórico estequiométrico para la transformación de glucosa en etanol según la teoría es de 0,511 g de etanol y 0,489 g de CO² por 1 g de glucosa, de acuerdo a la teoría de Gay Lussac.

En la realidad es difícil lograr este rendimiento, porque la levadura utiliza la glucosa para la producción de otros metabolitos (Montesinos & Navarro, 2000). El rendimiento experimental varía entre 90 % y 95 % del teórico, es decir, de 0,469 a 0,485 p/p. Los rendimientos en la industria varían entre 87 % y 93 % del rendimiento teórico(Boudarel, 1984). Otro parámetro importante es la productividad, que se define como la cantidad de etanol producido por unidad de tiempo y de volumen. Teniendo en cuenta lo anterior y comparado con los resultados obtenidos, se puede afirmar que el etanol producido bajo condiciones de laboratorio es altamente puro pues el porcentaje está dentro del rango al cual se obtiene industrialmente.

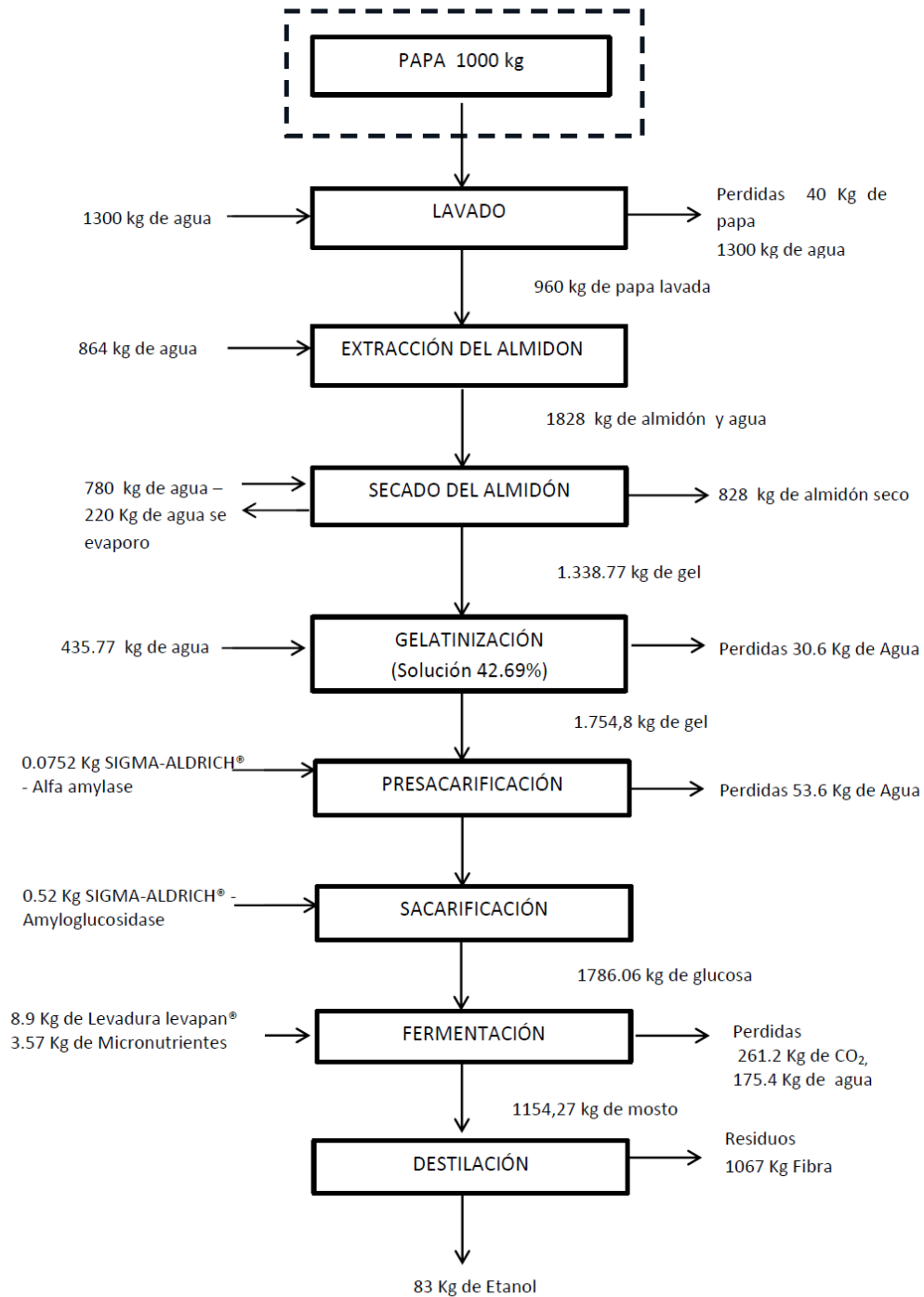
Para poder utilizar el etanol como combustible mezclándolo con gasolina, se elimina el agua hasta alcanzar una pureza del 99,5 % al 99,9 %. El valor exacto depende de la temperatura, que determina cuándo ocurre la separación entre las fases agua e hidrocarburo (Cardona & Sánchez, 2007).

2.6.4 Balance de masa

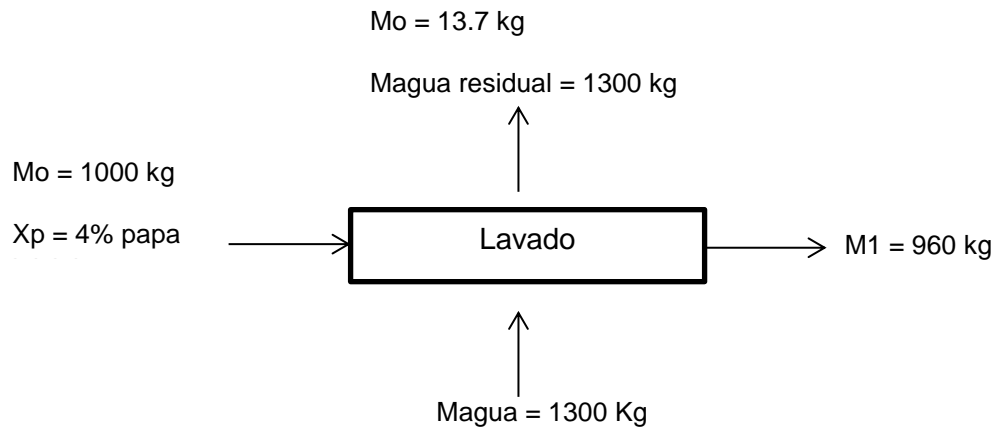
El balance de masa se realiza con el fin de evaluar las pérdidas, los equipos y de identificar los costos en que se incurren en la producción de etanol, con el fin de determinar la cantidad de alcohol que se obtuvo a nivel de laboratorio.

Para elaborar el balance de masa se tomó una base de cálculo de 1 tonelada por lote, dado que es la mínima cantidad que se debe procesar de acuerdo a la capacidad de los equipos. Para el consumo de enzima, agua y otros insumos se tuvo en cuenta las cantidades reportadas a nivel experimental. A continuación, en la Figura 2.19, se presenta el balance de masa del proceso seguido.

Figura 2.19. Balance de masa: base de cálculo 1000 kg/ lote.



Balance masa en la etapa de lavado



Donde:

$$M_o - M_p = M_1$$

M_o = papa

X_p = porcentaje de pérdidas

M_1 = papa

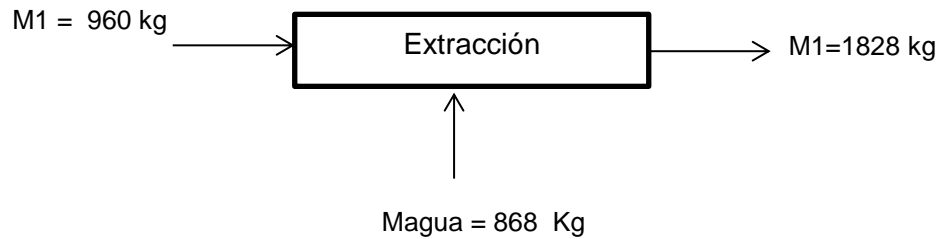
M_p = Masa perdida papa.

Tomando como referente los estudios de(Alarcón & Dufour, 1998) la cantidad de agua necesaria para el proceso es la siguiente:

$$\text{Pagua} = 1 \text{ g/ mL} = 1 \text{ Kg/L}$$

$$130 \text{ L agua/ } 100\text{Kg} * 1000 \text{ Kg} = 1300 \text{ L agua} * 1 \text{ Kg/ L} = 1300 \text{ Kg de agua}$$

Balance de masa en etapa de extracción de lechada (Almidón + agua)



Con base en lo identificado por Alarcón y Dofour (1998) la cantidad de agua para el proceso es la siguiente:

$$P_{\text{agua}} = 1 \text{ g/ mL} = 1 \text{ Kg / L}$$

$$90 \text{ L agua / 100 Kg} * 960 \text{ Kg} = 864,0 \text{ It agua} * 1 \text{ kg / L} = 864$$

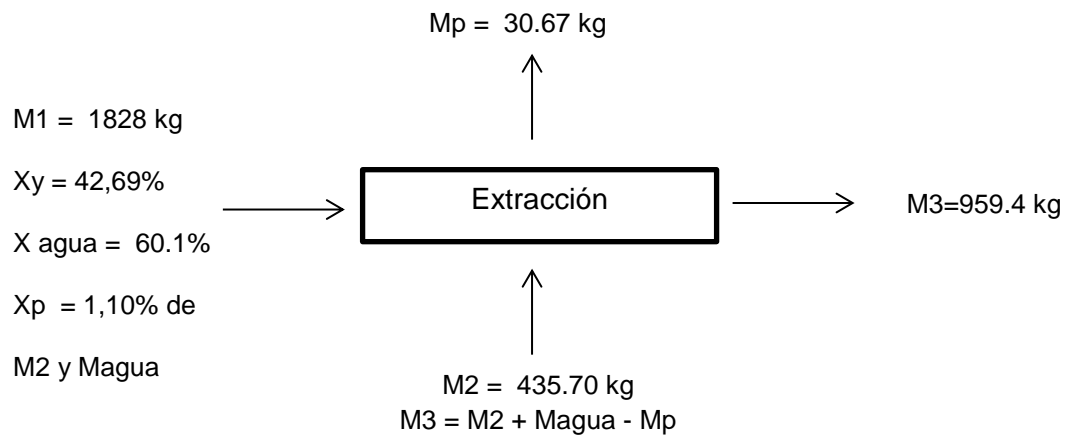
Donde:

M1 = papa

M2 = papa + agua

M2 = papa + agua

Balance de masa en la etapa de gelatinización



Donde:

M2 = almidón + agua

M3 = gel

Xp = porcentaje de pérdidas

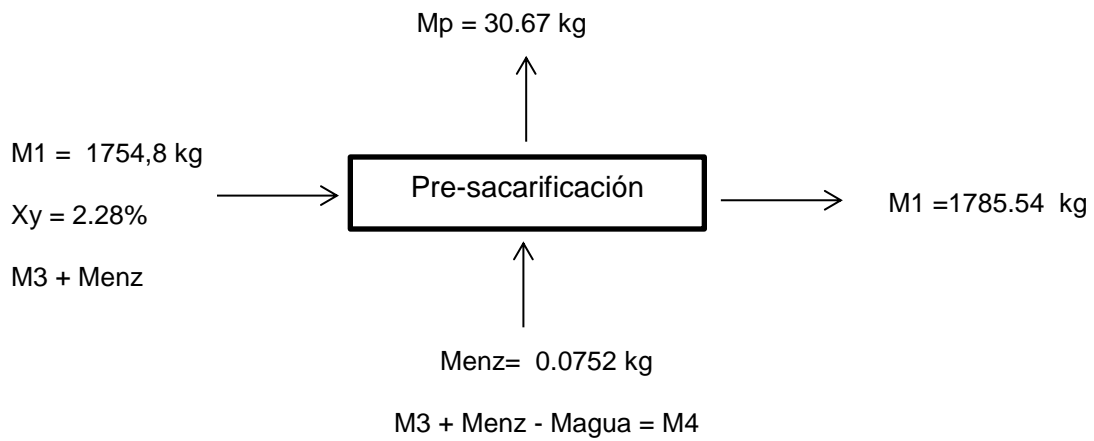
Xy = porcentaje de sólidos

X agua = porcentaje de agua

Mp = Masa perdida

De acuerdo a lo identificado por Sánchez & Cardona (2005), para llevar a cabo la gelatinización se prepara una suspensión con no más de 45% de sólidos(Sanchez & Cardona, 2005)

Balance de masa en la etapa de presacarificación



Donde:

M_3 = gel de almidón

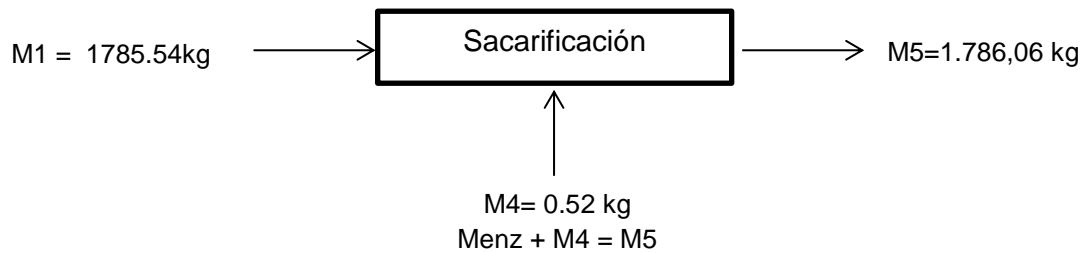
X_p = Porcentaje de perdidas

Menz = Masa del enzima

M_4 = Masa de dextrinas

M_p = Masa perdida

Balance de masa en la etapa de sacarificación



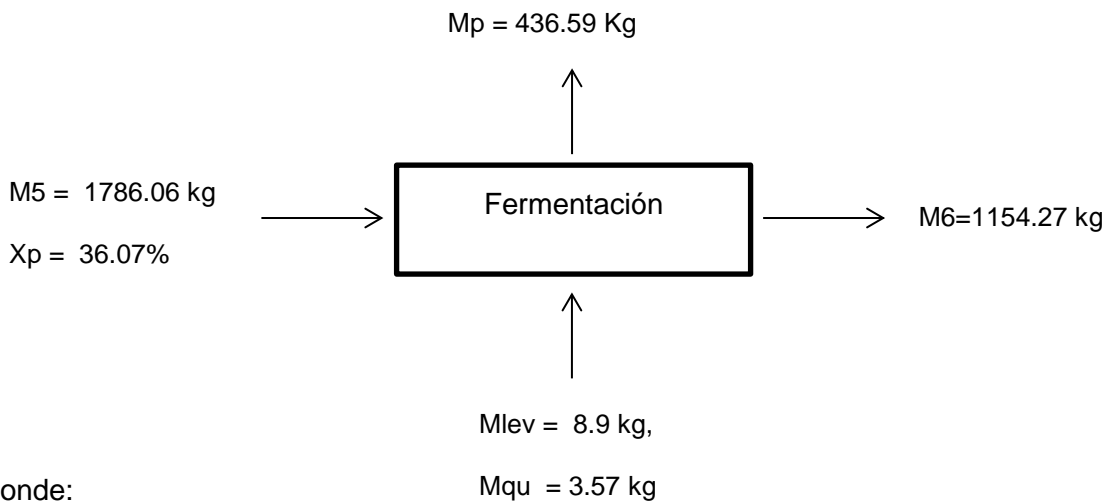
Donde:

M4 = Dextrinas

Menz = Masa del enzima

M5 = Masa de glucosa

Balance de masa en la etapa de fermentación



Donde:

M5 = Masa glucosa

Mlev = Masa de levadura

Mqu = Masa Nutrientes

3. Evaluación económica mediante sistema ABC aplicado a la producción de bioetanol a partir de almidón de papa a nivel de laboratorio

Dentro de la ciencia contable y administrativa han surgido nuevas técnicas de costeo, como es el sistema de Costeo por Actividades, ABC, por sus siglas en inglés (*Activity Based Costing*), diseñado para el costeo de productos, proveedores, clientes, proyectos e inversiones, así como sistemas para la evaluación del desempeño organizacional como es el del Valor Económico Agregado (Machado Cabezas).

Al contrario de los sistemas tradicionales que típicamente usan la mano de obra o las horas máquina como bases de asignación, el ABC se basa en el hecho de que los productos son el resultado de actividades de producción y que estas actividades tienen costos asignables a los productos específicos que causan las actividades. Los costos de producción son entonces asignados a los productos usando como bases de asignación, atributos de estas actividades. Estos atributos se llaman generadores de costos (Ayuso Moya, 2001)

Los costos por actividad son un proceso de acumulación e imputación de datos de costos y de rendimiento a las actividades de una empresa que realimenta la información necesaria acerca de los resultados reales en comparación con los costos planificados para iniciar la acción correctiva donde sea requerida. Para ello se requiere de un sistema de contabilidad por actividades el cual asigna los costos de tal manera en que estos se originan realmente en un momento determinado, no de la manera en que deberían o podrían ser realizados (Benítez & B Luis, 2005).

“El enfoque del costeo basado en actividades (ABC) se aplica por lo general, a la asignación de costos que no son materiales directos o MOD” (Alvarado Barrios, 1996).

Este enfoque presenta las siguientes características:

Admite que son las actividades las que consumen los recursos. Estas se reúnen en dos grupos de costos, durante la primera etapa del procedimiento de dos etapas, así:

- Supone que los productos generan los costos cuando demandan diversas actividades durante los procesos de producción. En otras palabras la causa de los costos son las actividades requeridas por los productos, primera etapa (Alvarado Barrios, 1996).

- Se les llaman generadores de costo a las bases de asignación que sirven para rastrear los costos desde los bolsones hasta los productos. Se fundamenta en las relaciones causa-efecto producidas entre las actividades y los costos. Esto se realiza durante la segunda etapa (Alvarado Barrios, 1996).

3.1 Sistema de costos por actividad

La principal característica del ABC es centrarse en las actividades que realiza la empresa, en una visión horizontal y siguiendo el flujo de los procesos. De esa forma se separa la relación de los sistemas contables tradicionales "recurso consumido - centro de costo-producto" creando la relación "recurso consumido - actividades - producto". Así, el poder descomponer los costos de los productos en las actividades que realiza la empresa, permite analizar en forma más realista y profunda, las posibilidades de reducción de costos. Se pasa de un análisis a nivel muy agregado de gastos-productos a un análisis más detallado que busca el origen de los costos (Cooper & Kaplan, 2000).

Los beneficios específicos y los usos estratégicos de esta información son:

- Costos más exactos de los productos permiten mejores decisiones estratégicas relacionadas con:
 - Combinar productos.
 - Elaborar compras.
 - Invertir en investigación y desarrollo.
 - Mayor visión sobre las actividades realizadas (debido a que ABC traza el mapa de las actividades y remite los costos a las mismas), esto le permite a una empresa: concentrarse más en la gestión de las actividades, tal como mejorar la eficiencia de las actividades de alto costo e identificar y reducir las actividades que no proporcionan valor agregado.
- El modelo de costeo basado en actividad requiere desarrollar una "red" que permita comprender como los productos "consumen" actividades y estas a su vez "gastan" los recursos. Estos pierden protagonismo como único objetivo de costo, es decir, el ABC emerge como un sistema de gestión integral y no como un sistema de cuyo objetivo prioritario es el cálculo del costo del producto (Santos, 2004).

En conclusión el sistema de costos por dos etapas (ABC) se apoya en tres elementos básicos (Alvarado Barrios, 1996):

1. **Productos.**- Desde el punto de vista del sistema, es el objeto de los costos cualquiera que éste sea. De modo que un artículo producido, un servicio prestado, una orden de trabajo o un proceso de cualquier tipo podrían ser ejemplos de productos.
2. **Actividades.**- Para el sistema ABC, una actividad es cualquier tarea que se realiza en una organización, la cual consume algún recurso y en consecuencia es posible asignarle un costo. Los procesos se suponen formados por un conjunto de actividades.
3. **Generadores de costos.**- Estos son equivalentes a las bases de asignación de costos de los sistemas tradicionales, como lo sugiere su nombre se reconoce el hecho de que

los productos demandan actividades la cual genera un costo que se carga al producto a través de una tasa apropiadamente calculada.

3.2 Asignación de costos a las actividades y al producto final

El proceso de asignación de costos a las actividades y de éstas a los objetos de costos, se apoya en criterios denominados “inductores de costo” (cost drivers), los cuales explican la relación de causa y efecto entre éstos elementos. Elegir un inductor correcto, requiere comprender las relaciones entre recursos, actividades y objetos de costo, por lo que éste inductor se selecciona considerando como se relaciona la actividad con el objeto de costo y como la relación se puede cuantificar.

Los inductores de costos se clasifican en dos tipos:

- Los inductores de primer nivel o inductores de recursos, que son aquellos que se utilizan para distribuir el costo al conjunto de actividades.
- Los inductores de segundo nivel o inductores de actividad, que son la base del reparto del costo de las actividades a los objetos de costo (bienes y/o servicios).

El ABC es un valioso sistema que dirige los costos de una organización a los productos y servicios. Estas organizaciones utilizan el ABC como un método para mejorar las operaciones por la administración de los inductores de las actividades que generan el costo, para apoyar mejores decisiones sobre líneas de productos, segmentos de mercado y relaciones con los clientes, simular el impacto del mejoramiento de los procesos (Administración de Calidad Total), utilizando la intermisión financiera y no financiera del ABC como un sistema de medición (Contreras & Mac Cawley, 2006). De esta manera, se les asigna un costo mayor a aquellos productos que hayan demandado más recursos, y dejarán de existir distorsiones causadas por efectos de promediación de los sistemas tradicionales de asignación (generación de costos medios) (Contreras & Mac Cawley, 2006).

La teoría económica convencional y los sistemas de contabilidad de gestión tratan los costos como una variable solamente si cambian con las fluctuaciones de producción a corto plazo. (Arbeláez & Marín, 2001). La teoría de ABC sostiene que muchas importantes categorías de costos no varían con los cambios de producción a corto plazo, sino con cambios (durante varios años) en el diseño, composición y variedad de los productos y clientes de la empresa. Estos costos de complejidad deben identificarse y asignarse a los productos (Horngrén, Foster, & Datar, 2002).

En general el sistema contable de ABC genera el beneficio de aprender a optimizar actividades dentro de la cadena de valor de las empresas, con un enfoque de procesos en vez de en áreas funcionales. Por otro lado, el ABC permite mayor visibilidad de los costos indirectos y los costos indirectos de fabricación (Pohle & La Londe, 1994). El ABC, según Smith, «puede crear una base informativa que facilite la implantación de un proceso de gestión de calidad total», citado por Garbey (2003), ya que permite identificar y cuantificar las causas y los causantes de las discalidades o costos de no calidad; de esta manera, facilita la toma de decisiones y la aplicación de medidas correctoras para

incrementar la calidad de los productos y los servicios (Garbey, 2003; Tummala, Chin, & Leung, 2002).

3.3 Productividad

La productividad es el mejoramiento efectivo de las capacidades productivas de una organización (Vanegas, 2001). Es decir, que la productividad puede definirse como la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados. Los resultados logrados pueden medirse en unidades producidas, en piezas vendidas o en utilidades y los recursos empleados pueden cuantificarse por número de trabajadores, tiempo total empleado, horas máquinas, entre otros (Gutiérrez Pulido, 2005).

La productividad es el cociente que se obtiene de dividir el monto de lo producido entre alguno de los factores de la producción. Así es posible hablar de la productividad del capital, de la inversión o de las materias primas, en función de que el monto de lo producido se considera en relación con el capital, la inversión o las materias primas, etc., (Sumanth, 1999).

3.3.1 Medición de la productividad

La medición de la productividad a nivel de la empresa, se puede definir como la cuantificación de la producción obtenida y los insumos utilizados en el proceso productivo (Vanegas, 2001). Para realizar la medición de la productividad se debe tener en cuenta:

- Un valor fundamental del concepto y la medición de la productividad es la estrecha relación entre la productividad y la rentabilidad de la empresa. Por ello, se establece un sistema de indicadores que explícitamente relaciona ambos conceptos.
- Mediante la medición, la productividad en la empresa adquiere una dimensión concreta.
- Existe una relación entre la productividad laboral y el nivel salarial. (Vanegas, 2001)

- **Significado de la productividad**

La productividad en general, tiene dos significados (SENA, 2003): la productividad física y la productividad del valor. La primera se refiere a la productividad como unidad básica cuantitativa y la segunda al valor económico creado a través de una serie de actividades. La productividad física como unidad base puede aplicarse a una industria particular o a un proceso específico de operación. Este tipo de medición aunque importante tiene limitaciones cuando se trata de hacer evaluaciones intertemporales.

Por otro lado, la productividad entendida como el valor creado en una empresa puede compararse con la de otra empresa y entre sectores industriales, a pesar de sus diferencias, ya que en el valor de los bienes o servicios quedan incorporados a los cambios en el cuerpo del producto o el servicio. El valor de estos cambios se revela por el reconocimiento que el consumidor realiza a través del precio que paga.

3.4 Metodología

Para la determinación de los costos unitarios existen tres sistemas a saber:

1. Por órdenes de producción.
2. Por procesos
3. Costeo ABC, que son aplicables de acuerdo a las especificidades del tipo de investigación, del proceso de producción y de la intencionalidad de la información disponible.

De acuerdo a lo anterior, para el análisis de costos se aplicó un modelo por órdenes de producción dado que es el modelo que más se ajusta a nivel de laboratorio.

Se empleó los siguientes pasos metodológicos, como lo referencian Anderson, S y Kaplan R. (2004)

- **Identificación de las actividades**

Una vez conocido y evaluado el proceso, se identificó las actividades que en él se realizan. La idea es pasar de lo general a lo particular, determinando para esto, las actividades principales y sub actividades más importantes dentro del proceso de producción de etanol, para así evaluar la influencia y agregación de valor que tienen cada una en él, y por lo tanto, en el producto final.

- **Determinar consumo de recursos**

De acuerdo al proceso, cada actividad tuvo su propio costo, el cual dependió del tipo de actividad y del lugar o momento en que se realizó, ya que pudo ser más de uno dependiendo de la intensidad y del número de sub actividades en el cual se desagregó.

- **Determinar la generación de costo**

Dependiendo del número y tipo de sub actividad, la generación de costo fue distinto para cada una de ellas, realizando la elección de cada uno de acuerdo a como se consume el recurso y a como puede ser transferido su costo a la actividad principal y de éste, al producto final.

- **Identificar recursos**

Debido a que cada proceso es distinto, y por presentar cada actividad sus propios costos, el consumo de recursos es diferente. El total de recursos se identificó de acuerdo al proceso, al tipo de producto y al propósito del estudio, el cual es la evaluación de los costos que cada producto genera durante la fermentación y obtención de etanol.

- **Identificar objetos de costos.**

Cada proceso genera distintos productos a ser cuantificados, por lo tanto se identificaron los productos finales que el proceso experimental produce y elabora en el mismo.

- **Asignación de los costos a las actividades**

Una vez determinado el costo, se evalúa el costo del consumo de las materias primas en cada una de las sub actividades, para así sumar y determinar el costo total de la actividad realizada y generada. Este costo se traspasa y agrega al proceso, por lo tanto, al producto final.

3.5 Discusión de resultados

3.5.1 Asignación de los costos de las actividades al producto

A cada actividad se estableció su propio costo y agregación de valor al proceso. Una vez determinado el costo de cada actividad y la suma de todas las que intervinieron en el proceso en la obtención de etanol, en cada una de las etapas, se formó el costo total del producto. Como resultado del análisis de los costos sobre el modelo ABC, se obtuvo los datos que se reportan en el Anexo D.

Con base en lo anterior se construye las Tablas 3.1 y 3.2 y sus respectivas gráficas.

Tabla 3.1. Definición de actividades sistema ABC. Estado de costos y de resultados para un litro de etanol producción a escala de laboratorio.

ESTADO DE COSTOS		PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN (%)
Inventario inicial de materia prima	0	
Compras de materia prima	\$ 2.142,84	
MATERIA PRIMA DISPONIBLE	\$ 2.142,84	
Inventario final de materia prima	\$ 3.904,56	
COSTOS MATERIA PRIMA UTILIZADA	\$ 6.047,40	32,59
Materiales indirectos		
COSTO DE MATERIAL DIRECTO		
Mano de obra	\$ 5.768,75	
Mano de obra indirecta		
MANO DE OBRA DIRECTA	\$ 5.768,75	31,08
Materiales indirectos	\$ 4.242,62	
Mano de obra		
Otros costos indirectos	\$ 2.500,00	
COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACION	\$ 6.742,62	36,33
COSTOS DEL PERIODO	\$ 18.558,77	
ESTADO DE RESULTADOS		
Ingresos Operacionales (\$/L)	\$ 22.000.[1]	

Costo de Ventas	\$	18.558,77
Utilidad Bruta Operacional	\$	3.341,23
Margen de contribución: 18.5% por litro de etanol		

De acuerdo a la Tabla 3.1, los costos indirectos representan la mayor proporción del costo total (36,33%), debido a la cantidad de reactivos necesarios para controlar temperatura y pH, así como los necesarios para el proceso de fermentación; dentro de estos la mayor representatividad está dada por los costos en el proceso de filtración, seguido de la cuantificación de azúcares. La materia prima representa un 32.59 % del total del costo total, dentro de esta el costo de la papa es un poco más elevado que el de los otros insumos. Este resultado a nivel de laboratorio corrobora otras investigaciones donde se emplea otras materias primas, caso de la caña de azúcar y maíz donde representa el 60 % de los costos del proceso (Montoya R. M., J., Sanchez T. O., & Cardona A. C., 2012).

Tabla 3.2. Costos para la toma de decisión. Análisis del comportamiento de los costos en la producción etanol a nivel experimental.

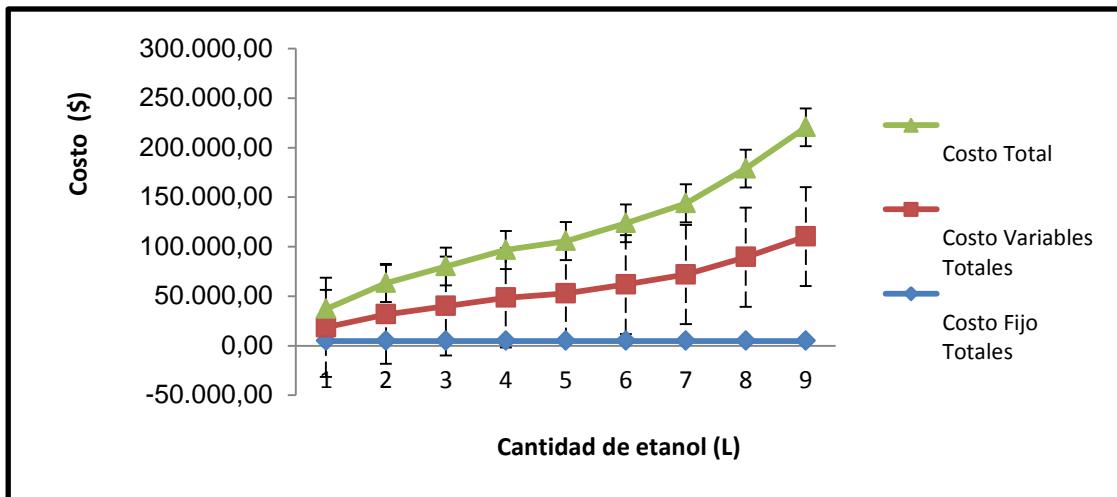
1. QL	2. COSTO FIJO TOTALES (CFT)	3. COSTOS VARIABLES TOTALES (CVT)	4. COSTO TOTAL (CT) (2 + 3)	5. COSTO FIJO MEDIO (CFM) (2 / 1)	6. COSTO VARIABLE MEDIO (CVM) (3 / 1)	7. COSTOS TOTALES MEDIOS (CTM) (4 / 1)	8. COSTO TOTAL (CT) (2 + 3)	9. COSTO MARGINAL (ΔCT /ΔPT)
1	4.747,70	13.811,07	18.558,77	4.747,70	13.811,07	18.558,77	18.558,77	
2	4.747,70	26.913,00	31.660,70	2.373,85	13.456,50	15.830,35	31.660,70	13.101,93
3	4.747,70	35.268,00	40.015,70	1.582,57	11.756,00	13.338,57	40.015,70	8.355,00
4	4.747,70	43.623,00	48.370,70	1.186,93	10.905,75	12.092,68	48.370,70	8.355,00
5	4.747,70	48.073,00	52.820,70	949,54	9.614,60	10.564,14	52.820,70	4.450,00
6	4.747,70	57.095,00	61.842,70	791,28	9.515,83	10.307,12	61.842,70	9.022,00
7	4.747,70	67.168,00	71.915,70	678,24	9.595,43	10.273,67	71.915,70	10.073,00
8	4.747,70	84.690,00	89.437,70	593,46	10.586,25	11.179,71	89.437,70	17.522,00
9	4.747,70	105.574,00	110.321,70	527,52	11.730,44	12.257,97	110.321,70	20.884,00

[1] Para la determinación del precio de venta se tomó como referencia un promedio del precio del producto en el mercado. Valor que se solicitó a la casa comercial KAZARCOL LTDA. Bogotá. www.ventas@kazarcolltda.com.

Como se observa en la Tabla 3.2, el costo de mano de obra, se ve afectado por las actividades que se desarrollan durante el proceso de extracción del almidón y de la cuantificación de azúcares, así mismo, los costos fijos totales se mantienen en \$4.747,70 sin importar el volumen de etanol que se produzca (QL). También es importante señalar que los costos variables totales muestran un incremento en la medida que aumenta el nivel de producción de etanol, sin embargo este incremento no es constante. En términos generales, la actividad que incide en y eleva el costo en la producción de etanol a nivel de laboratorio es el de cuantificación de azucares, como consecuencia de la mayor cantidad de insumos, reactivos y tiempo necesarios para este proceso.

De otra parte, al revisar los costos totales y graficarlo, Figura 3.1, se observa que hay un crecimiento lento al inicio del proceso y posteriormente se presentan tasas altas de expansión, de igual manera los costos fijos están representados por una recta. Así mismo, se observa que los costos variables tienen el mismo comportamiento que los costos totales, por último, en la Figura 3.1, se observa que la distancia entre la curva de costos totales y costos fijos representa los costos variables.

Figura 3.1. Comportamiento de los costos totales, variables y fijos en la producción de etanol a nivel experimental.



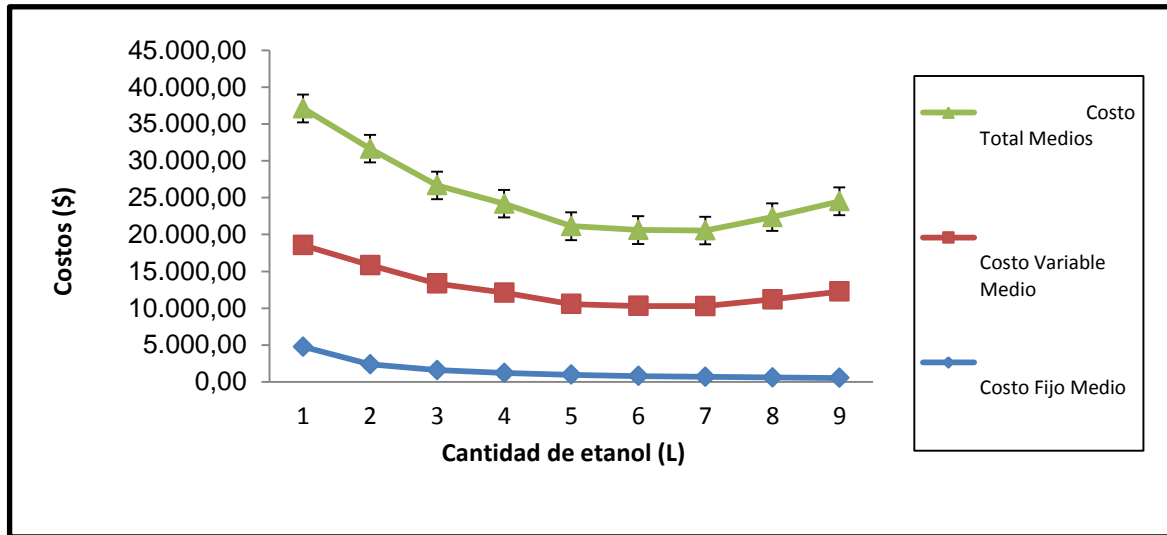
En la Figura 3.2, se observa el comportamiento de los costos medios, es así que los costos fijos medios decrecen cuando aumenta el volumen de producción, lo cual indica que en la medida en que la producción aumenta con una escala de planta fija más eficiente serán utilizados los factores fijos.

Los costos variables medios decrecen con el aumento de la producción, el cual alcanza un mínimo de volumen de 6 L, para luego aumentar nuevamente; esto significa que la eficiencia disminuye cuando la producción se eleva después de 6 L.

Ahora, al observar los costos totales medios, cuando el volumen de producción aumenta desde 1 L, los costos fijos medios disminuyen en 6 L, de esta manera los factores fijos son eficientemente utilizados. De igual forma, los aumentos en la producción hasta 9 L,

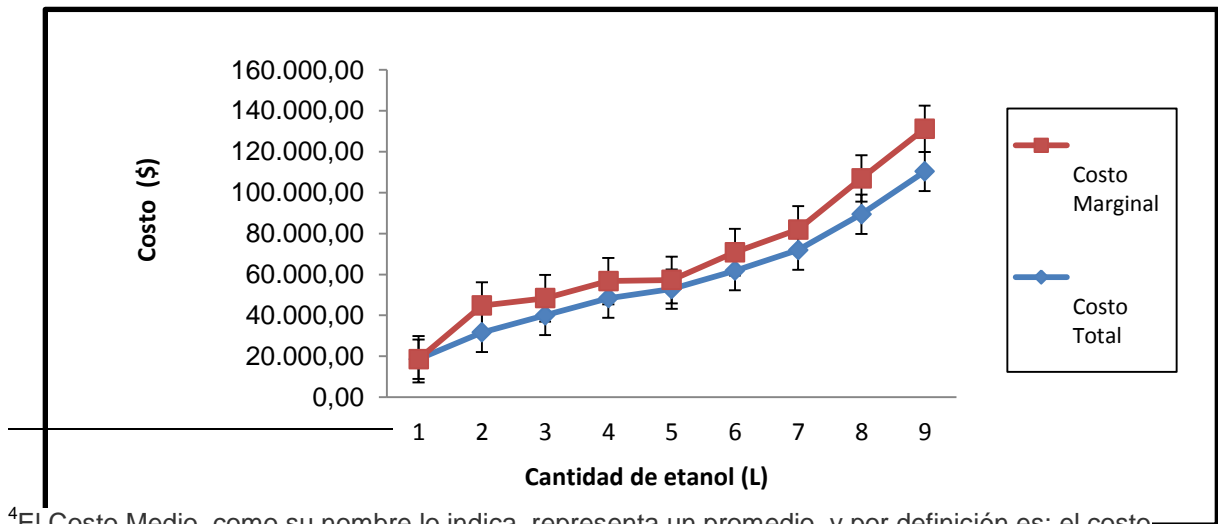
permiten que los factores variables sean también eficientemente utilizados. Esto significa una creciente eficiencia en cuanto al manejo de la operación total del proceso de obtención de etanol a nivel experimental.

Figura 3.2. Comportamiento de los costos medios de la producción de etanol a nivel experimental.



Los costos totales medios⁴ decrecen hasta la producción de 6 litros, lo cual corresponde al punto de operación más eficiente, es decir que es la tasa óptima de producción. Más allá de este punto la eficiencia decrece por cuanto el costo total medio crece nuevamente, debido a que la eficiencia decreciente del factor variable se vuelve dominante.

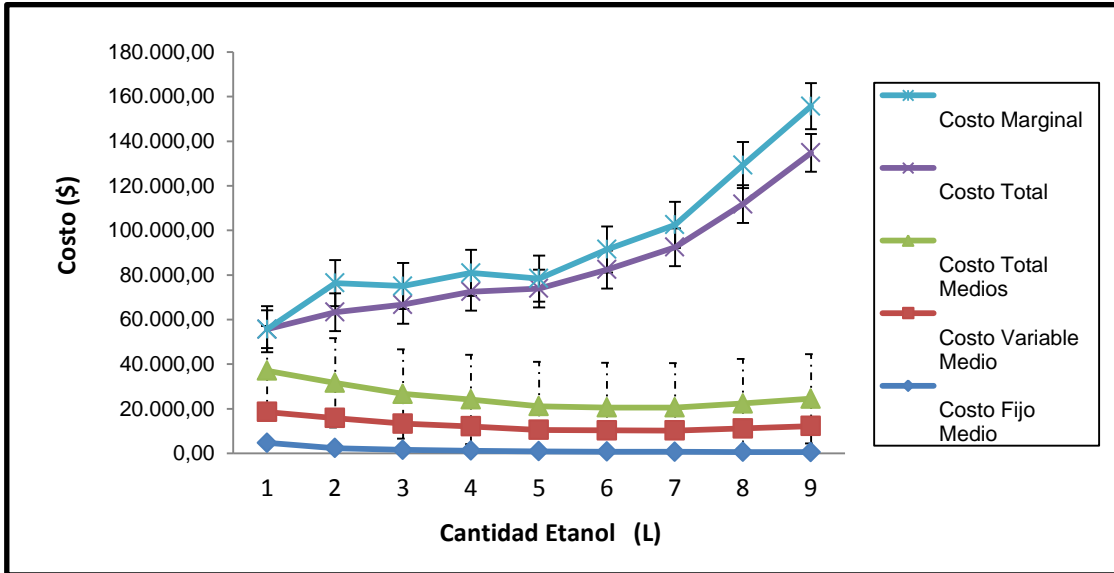
Figura 3.3. Comportamiento del costo marginal de a corto plazo de la producción de etanol a nivel experimental.



⁴El Costo Medio, como su nombre lo indica, representa un promedio, y por definición es: el costo promedio por unidad producida

En la Figura 3.4, se observa el comportamiento del costo marginal con relación al costo total. El costo menor se encuentra cuando se producen 5 L de etanol, sin embargo, se toma de decisión en el experimento aumentar en 1 L más de producción de etanol para encontrar la producción óptima.

Figura 3.4. Comportamiento del costo medio y marginal a corto plazo de la producción de etanol a nivel experimental.



La curva de costo marginal guarda relación con la curva de costo medio cuando el costo total medio disminuye al incrementarse la producción, el costo marginal es menor que el costo total medio, como se observa en la Figura 3.4. Es así, que cuando el costo total medio aumenta y al aumentar la producción el costo marginal es mayor que el costo total medio. La relación existente entre costo marginal y el costo total medio que es un factor que se presenta frecuentemente.

3.5.2 Productividad

A continuación se mide la productividad física la cual como unidad base puede aplicarse a una industria particular o a un proceso específico de operación (FAO), para este caso la producción de etanol se relaciona con la cantidad física de producto obtenido (1 L), con la cantidad física de insumos empleados en el proceso productivo, y con la mano de obra utilizada, igualmente se establece el porcentaje de rendimiento de la materia prima en cada una de las etapas del proceso productivo de acuerdo a la información presentada en la Tabla 2. 2.

- **Productividad total de materia prima.**

La productividad se define como el índice que relaciona bienes y/o servicios producidos con los insumos utilizados (Zugarramurdi, A.; Parin, M.A., 1999).

Su cálculo es igual a las unidades producidas/cantidad de materia prima usada:

- Productividad de materia prima (papa) = $1L / 6 lb = 0,1666$

Lo cual quiere decir que por cada libra de papa se produce 0,166 L de Etanol.

- Productividad de materia prima (enzimas) = $1 \text{ L} / 673,20 \mu\text{L} = 0,00148$
 Cada micro litro de enzima contribuye a la producción de 0,00148 L de etanol.

• **Productividad de la mano de obra.**

Se define como índice que relaciona bienes y/o servicios producidos con los recursos humanos utilizados.

Su cálculo es $PMO = \text{unidades producidas} / \text{horas mano de obra directa}$

$$PMO = 1L/3h = 0,33$$

Por cada hora de trabajo se obtiene 0,33 L de etanol.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede decir que las etapas de producción de etanol a partir de almidón de papa que inciden directamente sobre los rendimientos son la materia prima, el proceso de extracción y la acción de las enzimas durante el proceso de hidrólisis, dichos factores corroboran los hallados por González Fernández & Molina Córdoba, (2006).

En el proceso de extracción del almidón el rendimiento es muy bajo debido a las características de las variedades analizadas: Parda Pastusa y Tuquerreña.

Tabla 3.4. Rendimiento de la materia prima en la producción de etanol a partir del almidón de papa.

PROCESO	ENTRADAS	SALIDAS	RENDIMIENTO
Extracción Almidón	3000 g	561 g de almidón	18,7%
Licuefacción y Sacarificación	1.880 mL de agua y almidón	1551 mL de jarabe de glucosa	83%
Filtración	1551 mL de jarabe de glucosa	1.539,51 mL de jarabe de glucosa	99%
Fermentación	1539 mL de jarabe de glucosa	1539 mL de jarabe de glucosa	99%
Destilación	1539 mL de jarabe de glucosa	1000 mL de etanol	85%

De igual forma, fue importante establecer la relación de porcentaje de almidón presente en las variedades, con la composición del almidón en términos de amilosa y amilopectina, y la producción de etanol, dado que estos componentes permiten y garantizan una eficiencia en la acción de las enzimas: α -amilasa y glucoamilasa. Su accionar se relaciona directamente con la capacidad de hidrólisis sobre las cadenas de

amilosa y por ende con la formación de glucosa, sustrato necesario para una conversión a etanol.

Análogicamente, los resultados obtenidos muestran una eficiencia del 83% en el proceso de hidrólisis, este debe a que la eficiencia de la α -amilasa siempre va a ser más favorecida a concentraciones mayores de amilosa. Así, al analizar los resultados obtenidos en cuanto al porcentaje de amilosa se refiere, el obtenido de la variedad Parda Pastusa es de $18,64 \pm 0,06$ siendo mayor que el obtenido para la variedad Tuquerreña, el cual corresponde a $18,13 \pm 0,20$ siendo el factor determinante en el costo de la producción de etanol. Este resultado conduce a que, la variedad Parda Pastusa dentro de las variedades analizadas, corresponda a la materia prima óptima a utilizar para la producción de etanol.

Al respecto Contreras (2007) reporta que una de las principales razones que favorece el rendimiento en la producción de etanol es empleando como materia prima papa con alto contenido en materia seca y un porcentaje de almidón superior al 18%, factor que se corrobora con los resultados obtenidos para la variedad Parda Pastusa (Contreras A. , 2007).

A partir del proceso de licuefacción y sacarificación los porcentajes de rendimiento se incrementan debido a:

- El almidón es solubilizado con agua, y a partir de este proceso se da inicio al proceso para la producción de etanol, debido a la hidratación de los gránulos y los procesos de gelatinización que se suceden.
- El efecto en la adición de las enzimas utilizadas es alto en términos de conversión, dado los % presentes de amilosa y amilopectina en las variedades de papa, lo cual favorece la hidrólisis y por ende la obtención del jarabe de glucosa.
- En el proceso de filtración son muy pocas las partículas que se retiran del jarabe y por ende se obtiene un rendimiento del 99%.
- En el proceso de fermentación no hay una variación significativa entre la variedad Parada Pastusa y Tuquerreña, debido a que en este proceso a nivel experimental las condiciones y características del equipo no muestran dichas variaciones.

En el proceso de destilación el porcentaje de rendimiento disminuye al 85%, a causa del equipo empleado para este proceso, debido a que se realiza una destilación fraccionada, la cual no es la más apropiada por las condiciones de ser una solución azeotrópica. Así mismo, no se empleó sustancia alguna para retirar un % de agua presente, razón por la cual hay una pérdida en el rendimiento del proceso.

3.5.3 Análisis económico

El análisis económico está orientado en la determinación de la posibilidad del desarrollo del proyecto para la obtención de etanol a partir de las variedades Parda Pastusa y Tuquerreña, como una oportunidad económicamente rentable frente a la producción tradicional del cultivo de la papa en el departamento de Boyacá y las posibilidades de

entrar en el mercado de esta producción frente a los volúmenes que se demandan del producto y la necesidad de la producción nacional en la industria.

Para tener un marco general se pretende realizar el análisis frente a la industria de licores en Colombia, que permita establecer las posibilidades económicas de un emprendimiento y transformación de la papa en Boyacá.

La industria licorera de Colombia, emplea como materia prima el alcohol extraneutro al 96%, necesario para elaborar los aguardientes y diferentes productos. Según acta de contratación de la Fábrica de Licores de Antioquía, el volumen solicitado para compra ascendió en el 2012 a los 10.000.000 Litros (Antioquia G. d., 2012). Así mismo, se identifica que el etanol se importa de Holanda, Trinidad y Tobago, Ecuador, USA, Panamá y Bolivia. No obstante, este alcohol también se produce en la industria nacional en las licoreras de Caldas y del Valle (Antioquia G. d., 2012).

El análisis del entorno económico de la industria licorera en Colombia, muestra que es una de las principales fuentes de ingreso de los departamentos. En algunos casos, llega al 50% de los ingresos corrientes. Sin embargo, a partir de la década de los noventa, se presentan una serie de factores que han conllevado a que hoy solo funcionen 6 empresas públicas departamentales o licoreras departamentales (Fedesarrollo, 2012).

Dentro de este contexto, los elementos que incidieron para que se hubiera presentado esta situación, estuvo en la mayor competencia de licores importados, frente a los licores de producción nacional. Aunado a lo anterior, era mayor la diversidad de los licores importados y de otra parte, fue muy grande el incremento del mercado ilegal de bebidas alcohólicas en los últimos años (Fedesarrollo, 2012).

Otro aspecto fue la situación del monopolio en la producción de licores, puesto que cada departamento tiene el derecho de ejercer y comercializarlos dentro de su territorio geográfico. Igualmente, autoriza para ceder la producción a empresas privadas o permitir la comercialización de otros productos de otras regiones. Esto significa, que este es el mercado potencial en la venta del producto, que puede negociar dentro del mismo territorio según acuerdos para la producción y venta de este alcohol.

De acuerdo al estudio realizado en la Pontificia Universidad Católica del Perú, en donde se aplicó la Matriz Posición Estratégica y Evaluación de la Acción (MPEYEA) (Manquillo, Mora Arango, & Sánchez Hernández, 2012), las bebidas destiladas en Colombia tienen dos áreas fuertes que nos dan de manera previa la potencialidad del mercado y especialmente de la industria. Aquí en la parte financiera por ejemplo, el retorno de la inversión se considera alto, pues existe una liquidez más que aceptable, gracias a una rotación de inventarios rápida, que genera un flujo de caja alto, para salir al mercado de manera fácil. El riesgo involucrado en el negocio es moderadamente bajo y se tiene una buena experiencia en las economías de escala. Lo anterior, asociado a la fortaleza de la industria, que le permite una alta estabilidad financiera, gracias a una gran facilidad de entrada en mercados y a una alta calidad en la producción (Manquillo, Mora Arango, & Sánchez Hernández, 2012).

El estudio concluye que el mercado de bebidas alcohólicas destiladas en Colombia es "agresivo", siendo un mercado atractivo debido a que el entorno no genera cambios bruscos en su desarrollo y tiene una evidente ventaja competitiva, lo cual puede protegerlo con su fortaleza financiera.

Frente a este panorama, se plantean diversas estrategias de las cuales se extractan algunas que conducen a una argumentación suficiente para afirmar que la producción de alcohol, tiene un mercado bastante amplio en donde se puede incursionar de manera segura en cuanto a las inversiones que se realicen. Así mismo, desde el punto de vista económico, financiero y de mercado es altamente factible dado que se requiere de nuevas producciones, las cuales deberán aportar al desarrollo de la industria, del sector nuevos productos e incursionar en nuevos mercados, realizando acciones que mejoren sus procesos productivos y de rentabilidad y en donde la generación de alcohol a partir de la papa puede contribuir a procesos más eficientes y con menores costos.

Entre las estrategias que se plantean se tienen:

- “Aumentar la inversión con el objetivo de desarrollar nuevos productos tanto para penetrar aún más en el mercado local, así como para desarrollar los mercados externos, a través de convenios.”
- “Concentrar recursos en productos con clara ventaja competitiva”.
- “Realizar inversiones en la mejora y actualización de las plantas de producción, con miras a mejorar su eficiencia y por ende, a reducir los costos de fabricación”.
- “Optimizar los costos de producción del alcohol potable con el objetivo de mantener precios competitivos en la industria”.
(Manquillo, Mora Arango, & Sánchez Hernández, 2012)

• **ANALISIS IMPORTACIONES ETANOL**

Según cifras registradas en la Matriz Posición Estratégica y Evaluación de la Acción (MPEYEA) (Manquillo, Mora Arango, & Sánchez Hernández, 2012) para el año 2012, se registraron a precios FOB, para el país, importaciones cercanas a los 218 millones de dólares, y para julio, 144 millones de dólares del 2103, en lo relacionado a bebidas, líquidos alcohólicos y vinagre. En el mercado nacional se registran aproximadamente ventas por encima de los 770 mil millones de pesos para el año 2010. Con base en estas cifras, se procede a realizar el siguiente análisis sobre los resultados del proyecto.

• **ANALISIS DEL PROYECTO**

En la Tabla 3.5 se muestra la producción de papa en Boyacá para el año 2012, en donde se observa por una parte los ingresos estimados por cada variedad de papa, En la Tabla 3.6 se presentan por su parte, los costos estimados, tomando en cuenta el área sembrada, de acuerdo a los reportes del Ministerio de Desarrollo Rural y Fedepapa, Tabla 3.6.

Tabla 3.5. Precios e ingresos generados por variedad en Boyacá 2012.

Variedad	Área (ha) a	Rendimiento Anual (Tn/ ha) (b)	Precio Promedio (kg - Año) (b)	Volumen de producción total (Tn)	Ingreso producción en Bruto (\$/Tn)
Parda Pastusa	2.790,00	17,0	751,50	47.430,00	35.643.645,00
Tuquerreña	4.810,00	16,1	1.004,92	77.441,00	77.821.751,58

(a) Área total reportada en Boyacá. http://www.fedepapa.com/?page_id=647(b) Agronet: <http://www.agronet.gov.co/estadistica>**Tabla 3.6.** Costos de producción

FACTOR DE PRODUCCIÓN	COSTO (\$/ha año)				
	VARIEDAD	ÁREA (ha) *	RENDIMIENTO ANUAL (Tn/ ha) (a)	COSTO PROMEDIO POR ha (*)	VOLUMEN DE PRODUCCIÓN TOTAL (Tn)
Parda Pastusa	2.790,00	17,0	11.489.658,00	47.430,00	32.056.145,82
Tuquerreña	4.810,00	16,1	11.489.658,00	77.441,00	55.265.254,98

(*)<http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/public/boletines/Costos2010trim3/mediano.pd/www/htm3b/public/boletines>(a) Agronet: <http://www.agronet.gov.co/estadistica>

Para realizar la evaluación sobre el proyecto, se plantea que los valores reportados de la Tabla 3.5 y Tabla 3.6 responden a los precios para la venta final al consumidor. Así mismo, se toma la decisión de inferir un porcentaje que corresponde a la intermediación la cual se considera en un 30 % (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Dirección de Cadenas Productivas, 2004) con el fin de identificar el margen de comercialización.

Esta suposición deja ver muy claramente una condición negativa para el productor de papa, sumado al hecho que es un mercado que no tiene una estabilidad en los precios ni políticas que puedan atenuar o mejorar las condiciones de productividad y comercialización del producto.

De otra parte, para realizar el análisis sobre los costos de producción por litro de alcohol se toma como base los datos obtenidos a nivel de laboratorio, los cuales se reportan en la Tabla 3.1 y se emplearon para realizar el análisis económico y financiero y comparar la situación frente a la producción de papa en fresco en el departamento de Boyacá.

La primera suposición que se realiza es tomar el 20% de la producción total de papa, con la cual se estima que se pueden obtener 8 millones de litros, lo que arrojaría ingresos por valor estimado de 183 mil millones, como lo muestra la siguiente Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Estimación de la producción de etanol

ESTADO DE RESULTADOS	PESOS / LITRO (a)	PRODUCCION ALCOHOL (LITROS)	VALOR DE LA PRODUCCIÓN TOTAL	COSTO DE LA PRODUCCIÓN TOTAL	MARGEN DE UTILIDAD TOTAL
Ingresos Operacionales (\$ / L)	\$ 22.000 [1]	8.324.733	183.144.126.000,00		28.647.320.941,59 15,6%
Costo de Ventas	\$ 18.558,77			154.496.805.058,41	
Utilidad Bruta Operacional					
Margen de contribución: 18,5% por litro de etanol	\$ 3.341,23				

(a) Fuente: Tabla 3.1

[1] Precio de venta en el mercado en Bogotá a 2012.

Según información suministrada por la Tabla 3.8 es evidente que mientras la utilidad a partir de la producción de alcohol es mayor al 15 % el productor de papa en fresco obtiene una perdida alrededor del 10 %. En esta misma Tabla sobresale el margen de comercialización que se obtiene de la papa en fresco que es más del 40 %.

Es importante resaltar que a pesar de que los costos de la producción de alcohol son mayores que los costos de la papa en fresco, el margen de utilidad es mayor por la producción de alcohol.

Tabla 3.8. Estimación de ingresos y gastos

ITEMS	INGRESOS Y GASTOS			
	PRECIOS ALCOHOL	PRECIOS TOTALES DE LA PAPA EN FRESCO AL PRODUCTOR	PRECIO TOTAL DE VENTA DE LA PAPA EN FRESCO AL CONSUMIDOR (\$)	MARGEN DE COMERCIALIZACIÓN DE LA PAPA EN FRESCO
	(\$/L)	(\$)		
Ingresos	183.144.126.000	79.359.485.800	113.465.396.583	34.105.910.783 42,98%
Costos	154.496.805.058	87.321.400.800		
Utilidad	28.647.320.942	-7.961.915.000		
% Utilidad	15,60%	-10,00%		

Fuente: Tabla 3.6 y Tabla 3.7

Es evidente que la alternativa de la producción de alcohol puede resultar siendo una oportunidad como salida a la crisis actual del sector de la papa. También es necesario

aclarar que estas variedades no son las ideales para la producción de alcohol, dado que se esperaría tener una variedad única y exclusiva.

• **ANÁLISIS FINANCIERO**

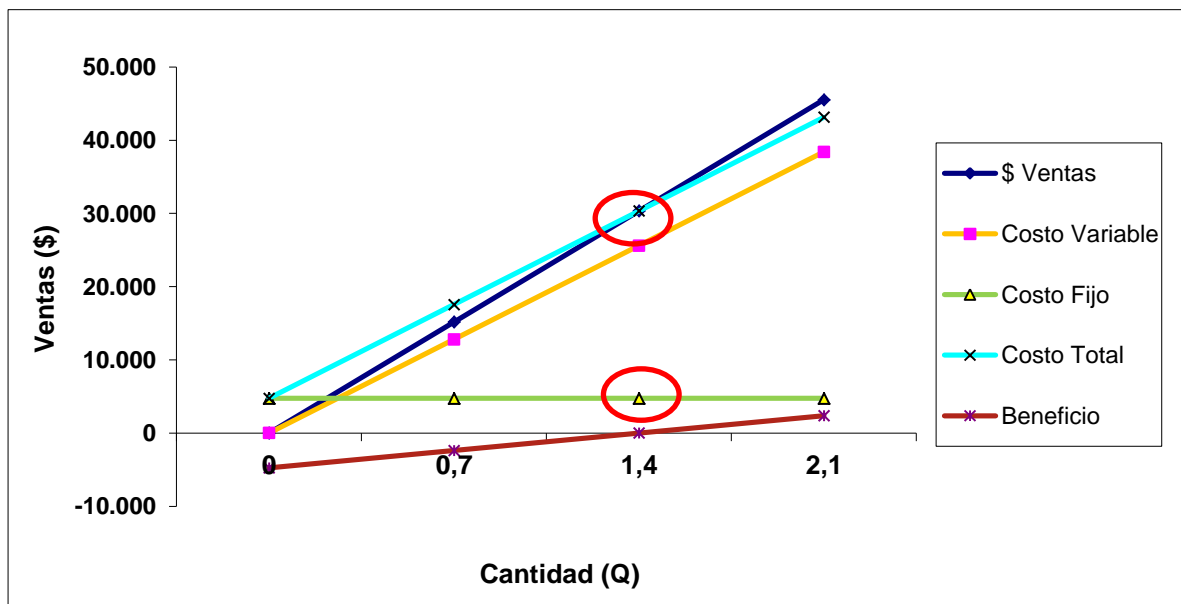
Para este análisis, se estima una proyección de cinco años, en donde los ingresos se proyectan sobre la base del crecimiento económico esperado, el cual se tasa en un 4,9% según proyección del gobierno (ANDI, 2012) y los costos sobre el índice de precios al consumidor puede estar en promedio en un 3%. La tasa de descuento para este caso será del 10% tomando como referencia los rendimientos que se podrían obtener en una entidad fiduciaria, si bien es cierto que el sector financiero en estos momentos no está otorgando rendimientos promedios registrados en la DTF que estos están oscilando entre el 4 % y 5% efectivo anual (ANDI, 2012).

El análisis que se desprende es básico, si bien es cierto que los flujos no contemplan inversiones iniciales, por ser una evaluación a escala de laboratorio para la de obtención de alcohol, solo se toma en cuenta la operación. A un así permite sensibilizar inversiones iniciales para conocer el comportamiento en el tiempo, por lo que para el cálculo del valor presente neto y la tasa interna de retorno se tomara como inversión hipotética valores de \$ 100 millones, \$ 200 millones y \$ 300 millones, que se comparara con una tasa del 10%, que razonablemente se esperaría como mínimo de una inversión.

• **PUNTO DE EQUILIBRIO**

Para realizar el análisis económico se emplea esta herramienta financiera que permite determinar el momento en el cual las ventas cubrirán exactamente los costos, Permite ver la magnitud de las utilidades o perdidas de la empresa cuando las ventas excedan o caen por debajo de este punto, por lo que es un punto de referencia a partir del cual un incremento en los volúmenes de venta generará utilidades, pero también un decremento ocasionará perdidas, por tal razón se deberán analizar algunos aspectos importantes como son los costos fijos, costos variables y las ventas generadas.

Figura 3.5. Punto de equilibrio



En la Figura 3.5, se observa que el punto de equilibrio se obtiene en 1.379 unidades. Esto nos indica que desde el punto de vista operacional, se alcanza el punto de equilibrio con un número relativamente bajo de unidades, es decir, sobre la base de los costos y ventas unitarios hallados en el estudio, porque frente a la magnitud de las ventas de 8 millones de unidades, estaríamos ante un proyecto ampliamente favorable. Sin embargo, habría que tomar en cuenta otros factores y costos que darían una realidad más cercana del punto de equilibrio, pero si nos permite ver que el proyecto alcanzaría rápidamente un punto de equilibrio, por lo que se puede tener como referencia para asegurar la factibilidad en un momento dado de implementar la producción ya en volúmenes importantes.

• **VALOR PRESENTE NETO**

Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología que se emplea consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial, entonces, es recomendable que el proyecto sea aceptado (Villacrès, 2013)

La ecuación 3 – 1 que nos permite calcular el Valor Actual Neto es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+K)^t} - I_0 \quad (3-1)$$

Donde:

- Vt Representa los flujos de caja en cada periodo t.
- Io Es el valor del desembolso inicial de la inversión.
- n Es el número de períodos considerado.
- K es el tipo de interés.

Tabla 4.1. Flujo de caja con inversión escenario A

FLUJOS DE CAJA						
ITEM	AÑOS					
	0	1	2	3	4	5
Ingresos		183.144.126.000	192.118.188.174	200.763.506.642	209.797.864.441	219.238.768.341
Costos		154.496.805.058	159.131.709.210	163.905.660.486	168.822.830.301	173.887.515.210
Utilidad	(100.000.000)	28.647.320.942	32.986.478.964	36.857.846.155	40.975.034.140	45.351.253.130
VPN		\$ 255.244.502				

Tabla 4.2. Flujo de caja con inversión escenario B

FLUJOS DE CAJA						
ITEM	AÑOS					
	0	1	2	3	4	5
Ingresos		183.144.126.000	192.118.188.174	200.763.506.642	209.797.864.441	219.238.768.341
Costos		154.496.805.058	159.131.709.210	163.905.660.486	168.822.830.301	173.887.515.210
Utilidad	(200.000.000)	28.647.320.942	32.986.478.964	36.857.846.155	40.975.034.140	45.351.253.130
VPN		\$ 246.153.593				

Tabla 4.3. Flujo de caja con inversión escenario C

FLUJOS DE CAJA						
ITEM	AÑOS					
	0	1	2	3	4	5
Ingresos		183.144.126.000	192.118.188.174	200.763.506.642	209.797.864.441	219.238.768.341
Costos		154.496.805.058	159.131.709.210	163.905.660.486	168.822.830.301	173.887.515.210
Utilidad	(300.000.000)	28.647.320.942	32.986.478.964	36.857.846.155	40.975.034.140	45.351.253.130
VPN		\$ 237.062.684				

En la Tabla 4.1, Tabla 4.2 y Tabla 4.3, se observa que las tres propuestas son positivas, sin embargo en la Tabla 4.3 con una inversión inicial de \$ 300 millones, se requiere un análisis de manera más detalladamente, en el sentido que el VPN es menor que la inversión inicial, pero en términos generales el proyecto se presenta factible, frente a la tasa de oportunidad que se espera en el mercado si no se realizara la inversión.

- **TIR (tasa interna de retorno)**

Para la evaluación de la TIR que corresponde a la **tasa interna de retorno** o **tasa interna de rentabilidad** (TIR) de una inversión y se define como el promedio geométrico de los rendimientos futuros esperados de dicha inversión, y que implica una oportunidad para "reinvertir". En término general, corresponde cuando el valor del VPN es igual a cero (Villacrès, 2013).

La TIR puede utilizarse como indicador de la rentabilidad de un proyecto: a mayor TIR, mayor rentabilidad; así, se utiliza como uno de los criterios para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para ello, la TIR se compara con una tasa mínima o el coste de oportunidad de la inversión Si la tasa de rendimiento del proyecto - expresada por la TIR- supera la tasa de oportunidad, se acepta la inversión; en caso contrario, se rechaza (Villacrès, 2013).

Para el presente proyecto se identifica una tasa de oportunidad de 10% aplicada a cada escenario A, B y C.

Tabla 4.4. Escenario A

FLUJOS DE CAJA						
ITEM	AÑOS					
	0	1	2	3	4	5
Ingresos		183.144.126.000	192.118.188.174	200.763.506.642	209.797.864.441	219.238.768.341
Costos		154.496.805.058	159.131.709.210	163.905.660.486	168.822.830.301	173.887.515.210
Utilidad	(100.000.000)	28.647.320.942	32.986.478.964	36.857.846.155	40.975.034.140	45.351.253.130
VPN		\$ 255.244.502				
TIR		28662%				
Tasa de Descuento		10%				

Tabla 4.5. Escenario B

FLUJOS DE CAJA						
ITEM	AÑOS					
	0	1	2	3	4	5
Ingresos		183.144.126.000	192.118.188.174	200.763.506.642	209.797.864.441	219.238.768.341
Costos		154.496.805.058	159.131.709.210	163.905.660.486	168.822.830.301	173.887.515.210
Utilidad	(200.000.000)	28.647.320.942	32.986.478.964	36.857.846.155	40.975.034.140	45.351.253.130
VPN		\$ 246.153.593				
TIR		14339%				
Tasa de Descuento		10%				

Tabla 4.6. Escenario C

FLUJOS DE CAJA						
ITEM	AÑOS					
	0	1	2	3	4	5
Ingresos		183.144.126.000	192.118.188.174	200.763.506.642	209.797.864.441	219.238.768.341
Costos		154.496.805.058	159.131.709.210	163.905.660.486	168.822.830.301	173.887.515.210
Utilidad	(300.000.000)	28.647.320.942	32.986.478.964	36.857.846.155	40.975.034.140	45.351.253.130
VPN		\$ 237.062.684				
TIR		9564%				
Tasa de Descuento		10%				

De acuerdo a los resultados obtenidos en los tres escenarios de inversión y tomando de referencia para la comparación el 30%, la TIR no tomó un valor igual con el VPN, lo que

permite concluir la alta rentabilidad del proyecto frente a tasa de oportunidad del 10%. Es necesario aclarar nuevamente que esta estimación se toma solamente la parte operacional establecida en los costos e ingresos esperados encontrados en el estudio, sin embargo, estos valores nos dan un primer acercamiento a la viabilidad de la inversión, estudios que no son objeto de este trabajo.

4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1 Conclusiones

El estudio muestra que existen diferencias significativas en las seis (6) variedades de papa analizadas en el contenido de cenizas. De igual forma, existen diferencias en el comportamiento de varias de las propiedades entre los almidones nativos analizados y la diferencia se debe a la relación de amilosa/amilopectina según las propiedades físico-químicas, la forma y el tamaño del gránulo, como se observó por microscopía óptica de alta resolución y la fuente biológica.

El mayor porcentaje de azúcares reductores a partir de las variedades Parda Pastusa y Tuquerreña se obtiene bajo unas condiciones de una concentración de 0.672mL/kg sustrato de enzima en solución al 42,2 % de almidón, empleando un tiempo de hidrólisis para la α -amilasa de 30 minutos y para la glucoamilasa de 14 horas. De igual manera, los análisis realizados previos a la hidrólisis determinaron que la α -amilasa, alcanza una actividad máxima para un pH de 4,7 y una temperatura de 55 °C. Para la glucoamilasa, por el contrario, el pH óptimo es de 4,7 con una actividad equivalente al 70% de la actividad máxima, y la temperatura óptima es de 75 °C.

Para el proceso de la fermentación alcohólica se seleccionó las variedades Parda Pastusa y Tuquerreña. Como resultado se obtuvo un consumo de azúcares reductores del 91 %, una densidad del etanol de 1,014 g/mL a 20 °C con una pureza del 94%. La concentración inicial de sólidos para una eficiente gelatinización del almidón de papa fue del 42,68%. Este proceso mostró en la investigación un consumo de azúcares reductores del 41,6% para el sustrato de la variedad Pardo Pastusa y un 75 % para el sustrato de la variedad Tuquerreña, lo cual tiene efecto directo en la producción de alcohol, donde se alcanza un 8,51% v/v. De acuerdo a los resultados obtenidos se produce 81,85 L de etanol / Tonelada de papa con una concentración del 42,5% m/v de sustrato.

Los costos que inciden en mayor proporción para la producción de etanol corresponden a la materia prima, debido al bajo porcentaje de extracción de almidón el cual corresponde al 18,7%. Esto demuestra la importancia que hoy en día tiene las diferentes investigaciones que se adelantan y se centran en el estudio de materias primas con mayor contenido de almidón y más económicas, así como la tecnología para la conversión a etanol.

La utilidad que se reporta a partir de la producción de alcohol a nivel de laboratorio es mayor al 15 % frente a la percibida por el productor de papa en fresco donde hay una

perdida alrededor del 10 %. Así mismo, sobresale el margen de comercialización que se obtiene de la papa en fresco que es más del 40 %. Es importante resaltar que a pesar de que los costos de la producción de alcohol son mayores que los costos de la papa en fresco, el margen de utilidad es mayor por la producción de alcohol.

4.2 Recomendaciones

Se requiere profundizar en la investigación en el proceso de fermentación bajo un modelo continuó para evaluar la eficiencia del proceso de obtención de etanol a partir de las variedades seleccionadas.

Se debe analizar las condiciones óptimas de operación de la enzima glucoamilasa: pH y temperatura. Esto permitirá identificar el grado de hidrólisis sobre la amilopectina, con el fin de aumentar el grado de concentración de los jarabes de glucosa, sustrato necesario para la etapa de fermentación.

Desde las posibilidades de producción agrícola de la papa, es importante incorporar en las siguientes investigaciones el análisis de variedades en diferentes pisos térmicos que conduzcan a la definición de zonas de producción con potenciales de uso y así mismo con destino a la diversificación de líneas agroindustriales.

Se requiere el estudio de nuevas tecnologías o desarrollo de nuevos productos, a partir de las variedades de papa existentes en la región, con el fin de generar proyectos de valor agregado y que encajen perfectamente dentro de las posibles orientaciones que demande el mercado.

Anexos:

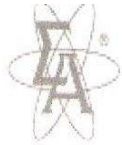
ANEXO A.

FICHA TÉCNICA DE LAS ENZIMAS α -AMILASA

 SIGMA-ALDRICH	
Certificate of Analysis	
Product Name	α -Amylase from <i>Aspergillus oryzae</i> , aqueous solution, ≥ 0.8 U/g
Product Number	A8220
Product Brand	Sigma
CAS Number	9001-19-8
Storage Temp	2-8°C
TEST	LOT 037K0770 RESULTS
ENZYMATIC ACTIVITY *	885 FAU/G
DENSITY *	1.266 G/ML
	* SUPPLIER RESULTS
QC RELEASE DATE	MARCH 2007
	
Rodney Burbach, Supervisor Analytical Services St. Louis, Missouri USA	

ANEXO B

FICHA TECNICA DE LA ENZIMA GLUCOAMILASA



SIGMA-ALDRICH

Certificate of Analysis

Product Name	Amyloglucosidase from <i>Aspergillus niger</i> , ≥300 U/mL, aqueous solution
Product Number	A7095
Product Brand	Sigma
CAS Number	9032-08-0
Storage Temp	2-8°C

TEST	LOT 017K1770 RESULTS
ENZYMATIC ACTIVITY *	330 AGU/G
DENSITY *	APPROX. 1.2 G/ML
	* SUPPLIER INFORMATION
QC RELEASE DATE	FEBRUARY 2007

Rodney Burbach, Supervisor
Analytical Services
St. Louis, Missouri USA

ANEXO C

FICHA TÉCNICA DEL JARABE DE GLUCOSA

		Número E 2 01 001	
		Fecha 26 de Octubre 2007	Pag 1 De 1
ESPECIFICACIONES		Reemplaza E3001	Revisión 02
Jarabe Fructosa y Glucosa		Referencia Laboratorio	
		Elaborado por Roberto Rodríguez	
Clasificación Standard 75 °Brix	Documento Tipo Productos Terminados	Estatus Aprobado	
Descripción del Producto Líquido viscoso de color amarillo claro cristalino. Sabor y olor característicos. Compuesto de una solución de Glucosa y Fructosa. Libre de metales.			
Presentaciones disponibles Isotanques. Cubetas de 5 galones, tambores de 50 galones.			
Composición			
Componente		Concentración Típica (% Base Seca)	
Glucosa		50	
Fructosa		50	
Parámetros Físico-Químicos			
Parámetro	Valor nominal	Mínimo	Máximo
Concentración (°Brix) *	75	74	76
pH	4.2	4.0	4.5
Gravedad específica	1.38	1.36	1.40
Viscosidad (cps)	750	600	1000
Cenizas (%)	0.04		0.06
Color ICUMSA	70		100
Olor	Azúcar característico		
Sabor	Dulce característico		
* La concentración puede ser ajustada según las necesidades del cliente			
Parámetros Microbiológicos			
Parámetro	Unidades	Máximo	
Recuento Total	ufc/10g	600	
Coliformes Totales	ufc/g	10.0	
Hongos y Levaduras	ufc/10g	30.0	
Almacenamiento	Almacenar a temperatura ambiente. Mantener por debajo de 65 °C. Nota: Es recomendable mantener este producto a temperaturas superiores a 20 °C para evitar la cristalización de sus componentes.		
Aprobaciones			
 Gerente de Calidad e Inocuidad		 Director Técnico	

ANEXO D.

IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES PARA EL ESTABLECIMIENTO DE COSTOS DE PRODUCCIÓN DE ETANOL A NIVEL EXPERIMENTAL

Artículo: etanol de almidón de papa															cantidad 1 litro	
PROCESO	MATERIA PRIMA				MANO DE OBRA			MATERIALES INDIRECTOS			MANO DE OBRA INDIRECTA		OTROS GASTOS GENERALES DE FABRICACION			
	DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL	NOMBRE	TIEMPO	VALOR	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR	DESCRIPCION	VALOR	CONCEPTO	VALOR		
Extracción almidón	papa	6lb	357,14	2.142,84	Sonia L.	1,00	1.922,92	bisulfito	10,7 gr	59,92			agua	1.500,00		
Licuefacción	alfamilasa (50ml)	336,6 uL	5,70	1.918,62	Sonia L.	0,17	326,90	acido	0,30ml	50,00			luz 40,45 horas	1.000,00		
Sacarificación	glucoamilasa	336,6 uL	5,90	1.985,94	Sonia L.	0,60	961,46	acido	0,30ml	50,00						
Filtración					Sonia L.	0,20	384,58	papel de filtro	6 hojas	2.000,00						
Cuantificación Azúcares					Sonia L.	0,80	1.538,33	felinh a	10 ml	450,00						
								felinh b	10 ml	460,00						
								acetato de plomo	0,1 gr	62,70						
								acido sulfurico	4 ml	185,00						
								sulfato ferrico 3	1 gr	410,00						
Fermentación					Sonia L.	0,20	384,58	permanganato de potasio	0,024gr	80,00						
								nitrate de amonio	2 grs	170,00						
								sulfato de magnesio	1 gr	75,00						
Destilación							fosfato monoacido de potasio	2 grs	190,00							
Totales			368,74	6.047,40		3,00	6.768,75			4.242,62				2.500,00		

costos variables	13.811,07	mo	0,89
costos fijos	4.747,70		
costo total	18.558,77		

costo total cf+cv*q

ANEXO E.**ANÁLISIS ESTADÍSTICO. VALORES DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN PARA LAS DIFERENTES VARIEDADES PAPA ANALIZADAS**

VARIEDAD	% RENDIMIENTO DE ALMIDON			PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN %
Parda Pastusa	13,03	14,04	15,05	14,04	13,03	15,05	1,01	1,0201
ICA Unica	8,79	9,25	8,33	8,79	8,33	9,25	0,46	0,2116
ICA Purace	13,1	14,52	13,81	13,81	13,1	14,52	0,71	0,5041
DiacolCapiro	14,87	14,02	15,72	14,87	14,02	15,72	0,85	0,7225
Merengo o Marenga	3,31	3,38	3,45	3,38	3,31	3,45	0,07	0,0049
Tuquerreña	25,05	23,26	24,15	24,15333333	23,26	25,05	0,895	0,801

ANEXO F.**ANÁLISIS ESTADÍSTICO. PORCENTAJE (%) DE AMILOSA PRESENTE EN EL ALMIDÓN PARA LAS DIFERENTES
VARIEDADES PAPA ANALIZADAS**

VARIEDAD	%AMILOSA			PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE
Parda Pastusa	18,64	18,69	18,58	18,63666667	18,58	18,69	0,055075705	0,003033333
ICA Unica	9,51	9,47	9,42	9,466666667	9,42	9,51	0,045092498	0,002033333
ICA Purace	9,28	9,41	9,34	9,343333333	9,34	9,41	0,065064071	0,004233333
DiacolCapiro	10,2	9,68	9,96	9,946666667	9,68	10,2	0,260256284	0,067733333
Merengo o Marenga	10,56	10,87	11,18	10,87	10,56	11,18	0,31	0,0961
Tuquerreña	18.13	17,93	18,32	18,125	17,93	18,32	0,275771645	0,07605

ANEXO G.**ANÁLISIS ESTADÍSTICOS. PORCENTAJE (%) DE AMILOPECTINA PRESENTE EN EL ALMIDÓN PARA LAS DIFERENTES VARIETADES PAPA ANALIZADAS.**

VARIEDAD	% AMILOPECTINA			PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	DESVIACIÓN	COEFICIENTE
Parda Pastusa	79,58	83,15	81,36	81,36333333	79,58	83,15	1,785002334	3,186233333
ICA Unica	90,53	92,68	88,42	90,54333333	88,42	92,68	2,130031299	4,537033333
ICA Purace	87,35	90,66	93,97	90,66	87,35	93,97	3,31	10,9561
DiacolCapiro	89,49	90,04	90,61	90,04666667	89,49	90,61	0,560029761	0,313633333
Merengo o Marenga	89,13	93,27	84,98	89,12666667	84,98	93,27	4,145001005	17,18103333
Tuquerreña	85,62	78,09	81,87	81,86	78,09	85,62	3,76500996	14,1753

ANEXO H.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO. COMPOSICIÓN DEL ALMIDÓN NATIVO PARA LAS DIFERENTES VARIEDADES PAPA ANALIZADAS

VARIEDAD PARDA PASTUSA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	DESVIACION STA	COEFICIENTE VARIACIÓN %
HUMEDAD (H)	17,2	16,8	17,6	17,2	16,8	17,6	0,4	0,16
PROTEINA (P)	0,48	0,43	0,39	0,43	0,39	0,48	0,0450925	0,002033333
GRASA (G)	0,3	0,33	0,34	0,323333	0,3	0,34	0,02081666	0,000433333
FIBRA (F)	0,02	0,04	0,01	0,023333	0,01	0,04	0,01527525	0,000233333
CENIZAS (Ce)	0,78	0,96	0,87	0,87	0,78	0,96	0,09	0,0081
CARBOHIDRATOS TOTALES (C)	81,22	81,44	80,79	81,15	80,79	81,44	0,33060551	0,1093
ICA UNICA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	DESVIACION STA	COEFICIENTE VARIACIÓN %
HUMEDAD (H)	17,2	16,8	17,6	17,2	16,8	17,6	0,4	0,16
PROTEINA (P)	0,48	0,43	0,39	0,433333	0,39	0,48	0,0450925	0,002033333
GRASA (G)	0,3	0,33	0,34	0,323333	0,3	0,34	0,02081666	0,000433333
FIBRA (F)	0,02	0,04	0,01	0,023333	0,01	0,04	0,01527525	0,000233333
CENIZAS (Ce)	0,78	0,96	0,87	0,87	0,78	0,96	0,09	0,0081
CARBOHIDRATOS TOTALES (C)	81,22	81,44	80,79	81,15	80,79	81,44	0,33060551	0,1093
VARIEDAD ICA PURACE	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	DESVIACION STA	COEFICIENTE VARIACIÓN %
HUMEDAD (H)	17,2	17,44	16,98	17,20667	16,98	17,44	0,23007245	0,052933333
PROTEINA (P)	0,43	0,42	0,4	0,416667	0,4	0,43	0,01527525	0,000233333
GRASA (G)	0,27	0,38	0,32	0,323333	0,27	0,38	0,05507571	0,003033333
FIBRA (F)	0,02	0,015	0,01	0,015	0,01	0,02	0,005	0,000025
CENIZAS (Ce)	0,52	0,49	0,55	0,52	0,49	0,55	0,03	0,0009
CARBOHIDRATOS TOTALES (C)	81,56	81,26	81,74	81,52	81,26	81,74	0,24248711	0,0588

VARIEDAD DIACOL CAPIRO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	DESVIACION STA	COEFICIENTE VARIACIÓN %
HUMEDAD (H)	15,18	15,23	15,27	15,22667	15,18	15,27	0,0450925	0,002033333
PROTEINA (P)	0,415	0,41	0,42	0,415	0,41	0,42	0,005	0,000025
GRASA (G)	0,31	0,32	0,33	0,32	0,31	0,33	0,01	0,0001
FIBRA (F)	0,02	0,01	0,015	0,015	0,01	0,02	0,005	0,000025
CENIZAS (Ce)	0,67	0,77	0,56	0,666667	0,56	0,77	0,10503968	0,011033333
CARBOHIDRATOS TOTALES (C)	83,4	83,26	83,4	83,35333	83,26	83,4	0,08082904	0,006533333
VARIEDAD CLON MARENGO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	DESVIACION STA	COEFICIENTE VARIACIÓN %
HUMEDAD (H)	18,82	18,7	18,94	18,82	18,7	18,94	0,12	0,0144
PROTEINA (P)	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0	0
GRASA (G)	0,38	0,26	0,32	0,32	0,26	0,38	0,06	0,0036
FIBRA (F)	0,04	0,035	0,03	0,035	0,03	0,04	0,005	0,000025
CENIZAS (Ce)	0,27	0,39	0,49	0,383333	0,27	0,49	0,11015141	0,012133333
CARBOHIDRATOS TOTALES (C)	80,06	80,185	79,8	80,015	79,8	80,185	0,19640519	0,038575
VARIEDAD TUQUERREÑA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	DESVIACION STA	COEFICIENTE VARIACIÓN %
HUMEDAD (H)	14,56	13,65	15,5	14,57	13,65	15,5	0,92504054	0,8557
PROTEINA (P)	0,43	0,39	0,48	0,433333	0,39	0,48	0,0450925	0,002033333
GRASA (G)	0,32	0,39	0,35	0,353333	0,32	0,39	0,03511885	0,001233333
FIBRA (F)	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,03	0,01	0,0001
CENIZAS (Ce)	0,58	0,53	0,49	0,533333	0,49	0,58	0,0450925	0,002033333
CARBOHIDRATOS TOTALES (C)	84,09	85,03	83,15	84,09	83,15	85,03	0,94	0,8836

**ANEXO I
SEGUIMIENTO PROCESO DE FERMENTACIÓN**

PAPA TOCARREÑA			
FERMENTACIÓN	FECHA	pH	°BRIX
MEDIO pH inicial= 4.5 a 29.5 °C °Brix iniciales=12	16 de Abril	3.31 a 29.6°C	12
	17 de Abril	2.47	8
	18 de Abril	3.42 a 30.1°C	4
	21 de Abril		3.5
	22 de Abril	3.31 a 29.6°C	3
PARDA PASTUSA			
MEDIO pH inicial= 4.5 a 29 °C °Brix iniciales=12	16 de Abril	3.30 a 31.4°C	12
	17 de Abril	3.24	9
	18 de Abril	3.81 a 30.3°C	7
	21 de Abril	4.35 a 29.6°C	5.5
	22 de Abril	4.21 a 30°C	5

TITULO DEL PERMANGANATO:

$$T = \frac{0.65 \times 100}{\text{Equivalencia por tabla}}$$

Los cálculos para hallar el contenido de azúcar se realiza de la siguiente manera:

$$\% \text{ A.R} = T \times \text{FD}$$

Dónde:

A.R: Concentración de azúcares reductores.

T: Titulo del permanganato

FD: Factor de Dilución.

$$\% \text{ de Dextrosa Equivalente} = \frac{\% \text{ Azúcares Reductores} \times 100}{\% \text{ Substancia Seca}}$$

Resultados

VARIEDAD DE PAPA	% AR α amilasa	% AR glucoamilasa	% DE FINAL	°BRIX
TOCARREÑA	5.98	10.60	30.96	35
PARDA PATUSA	3.70	13.00	34.85	37.5

ANEXO J CALCULO DEL PUNTO DE EQUILIBRIO

Datos iniciales

Precio Venta	22.000	
Coste Unitario	18.558	
Gastos Fijos Mes	4.747	
Pto. Equilibrio	1,379	Q de Equilibrio
\$ Ventas Equilibrio	30.341	\$ de Equilibrio

Datos para el gráfico

Q Ventas	0	0,7	1,4	2,1
\$ Ventas	0	15.171	30.341	45.512
Costo Variable	0	12.797	25.594	38.391
Costo Fijo	4.747	4.747	4.747	4.747
Costo Total	4.747	17.544	30.341	43.138
Beneficio	-4.747	-2.374	0	2.374

Derivación de la fórmula:

Q = cantidad

Qe = cantidad de equilibrio

VT = ventas totales

VTe = ventas totales de equilibrio

CT = costes totales

Cu = coste unitario

Pu = precio unitario

Mu = margen unitario

CV = costes variables

CF = costes fijos

$$VT - CT = 0$$

$$VT - CV - CF = 0$$

$$Pu * Q - Cu * Q - CF = 0$$

$$CF = Pu * Q - Cu * Q$$

$$CF = Q * (Pu - Cu)$$

$$CF = Q * Mu$$

$$Qe = CF / Mu$$

$$VTe = Qe * Pu$$

$$ITe = Qe * (Pu)$$

Bibliografía

(AOAC), I. A. (1998). *Official methods of analysis* (16th ed.). Washington, D.C.

Alarcón, F., & Dufour, D. (1998). *Ciat*. Recuperado el 10 de junio de 2009, de Ciat: <http://www.ciat.cgiar.org/agroempresas/almidónagri01.pdf>

Alonso, J. (31 de abril de 2000). Fertilización. *Boletín de la Papa*, 2(8), 56.

Alvarado Barrios, E. (1996). *Gerencia Estratégica de Costos* (Tercera ed.). Costa Rica: Lil S.A.

Alvis, A., Vélez, C., Villada, H., & Rada-Mendoza, M. (2008). Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas. *Información Tecnológica*, 19(1), 19-28.

Andrade, H. (1997). Requerimientos cualitativos para la industrialización de la papa. *INIAP*(56), 6-7.

Antioquia, G. d. (30 de enero de 2012). *Contratos*. Recuperado el 28 de septiembre de 2013, de Contratos: http://contratos.gov.co/archivospuc1/2012/DEPREV/2950000001/2-9-352278/DEPREV_PROCESO_12-9-352278_2950000001_4535000.pdf

Año internacional de la papa FAO. (2008). *El mundo de la papa*. Recuperado el 28 de abril de 2011, de Año internacional de la papa : <http://www.potato2008.org/es/index.html>

Año Internacional de la papa. (15 de Diciembre de 2008). *FAO*. Recuperado el 16 de mayo de 2011, de ww.potato2008: <http://www.potato2008.org/es/lapapa/IYP-3es.pdf>

Aparicio, M., Waliszewski, K., & Monroy-Rivera, J. (2003). *Caracterización físico-química de los almidones nativos y modificadores de yuca (Manihot esculenta Crantz), camote (Ipomeae batata (L) Lam) y plátano valery (Musa cavendish)*. Tesis Doctoral, Instituto Tecnológico de Veracruz.

APHA, AWWA, & WPCF. (1976). *standar Methods for the Examinatio0n of Water and Wastewater*.USA.

Arbeláez, L., & Marín, F. (2001). Sistema de Costeo ABC aplicado al Transporte de Carga. *EAFIT*(124), 9-20.

Artacho, M. (1975). Evaluación de métodos para la determinación de almidón, azúcares reductores y proteínas en papas (*Solanum tuberosum*, L.cv Arka). *Universidad Austral de Chile.*, 65.

Asturizaga Avliez, Y., & Bocanegra Amaya, C. (2008). *Evaluación de los rendimientos en el proceso de obtención de alcohol a partir de harina de ñame (Dioscorea Bulbifera, Trífida) por vía enzimática*. Trabajo de grado, Universidad de Sucre, Biología, Sincelejo.

Aya, A. W., Pineda, J., Sánchez, T. O., & Alzate, C. (2005). *Análisis comparativo de diferentes materias primas amiláceas para la obtención de alcohol carburante*. Congreso Colombiano de Ingeniería Química. Las Cadenas Productivas, Universidad Nacional, Caldas, Manizales.

Ayuso Moya, A. (2001). *La elección de los modelos de costes de calidad: Un análisis cualitativo*. Universidad de Valencia, Departamento de Contabilidad. Universitat de Valencia.

Badui, S. (2006). *Química de los Alimentos*. Mexico: Prentice Hall.

Balagolapan, C., Padmaja, G., Nanda, S., & Moorthy, S. (1988). *Cassava in food, feed, and industry*. Florida: CRC. Press.

Balat, M., Balat, H., & Oz, O. (2008). Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(5), 551 -573.

Belitz, H., & Grosch, W. (1997). *Química de los alimentos*. Zaragoza- España: Acribia S.A.

Bello-Pérez, L., Acevedo, E., Sánchez, L., & Paredes, O. (1999). Isolation and partial characterization of banana starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*(47), 854-857.

Bello-Pérez, L., Sánchez, H., Moreno, D., & Toro, V. (2002). Laboratory scale production of maltodextrins and glucose syrup from banana starch. *Food Technology*, 44-48.

Benítez, P., & B Luis. (2005). *Evaluación administrativa del aserradero La Toscana, C.A. para la implementación de un sistema de costos por actividad*. Tesis de grado, Universidad de Oriente, Departamento de Administración Industrial Núcleo de Monagas, Monagas- Venezuela.

Biemon, H., & Vos, J. (1992). Efectos de Nitrógeno sobre el desarrollo y crecimiento de la planta de patata. La partición de materia seca, nitrógeno y nitrato. *Annals of Botany*(70), 37-45.

Bigio, I. (26 de 12 de 2007). *Centro Internacional de la papa CIP*. Recuperado el 8 de Marzo de 2011, de Año Internacional de la papa: http://www.articuloz.com/article_290396.html

Bisang, R., & Gutman, G. (2005). Acumulación y tramas agroalimentarias en América Latina. *La CEPAL*, 115 - 129.

- Boudarel, M. (1984). *Contribution á l'étude de la Fermentation Alcoolique á partir de jus de Betteraves avec. Saccharomyces cerevisiae*. Thèse de Doctorat, Université de Dijon, Francia.
- Bou-Rached, L., De vizcarrondo, C., Rincón, A., & Padilla, F. (2006). Evaluación de harinas y almidones de mapuey (*Dioscorea trifida*), variedades blanco y morado. (U. d. alimentos, Ed.) *Archivos latinoamericanos de Nutrición.*, 56(4), 375- 382.
- Boyer, C., & Shannon, J. (1987). Carbohydrates of the kerne. (A. S. Ramstad, Ed.) *Chemistry and Technology*, 254-271.
- Brock, & Madigan, M. (2004). *Biología de los Microorganismos*. (10 ed.). Prentice hall.
- Bugg, T. (2004). All enzymes are proteins. En T. Bugg, *An Introduction to Enzyme and Coenzyme Chermistry* (Segunda ed., pág. 304). Blackwell Publishing, Oxford,.
- Buitrago G., e. a. (2004). Determinación de las caraterísticas físicas y propiedades mecánicas de papa cultivada en Colombia. *Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8(1), 102-110.
- Byong, L. (2000). *Fundamentos de biotecnología de los alimentos*. Zaragoza, España: Acribia.
- Cáceres, J. (1991). *Aspectos tecnológicos del cultivo de la papa en el Ecuador*. Quito. Cadena Agroindustrial del Etanol. (s.f.). Recuperado el 18 de Febrero de 2013, de http://repiica.iica.int/docs/B0014e_6.html
- Calderón, P. (2007). *Evaluación del uso de antibióticos como mecanismos para lel control de contaminantes bacterianos en la fermentación para la producción de alcohol etílico*. Trabajo de Grado., Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias, Bogotá.
- Callejas, O., & Orduñez, D. (30 de Marzo de 2007). *Determinación y evaluación de los costos dentro de la cadena productiva de la papa en los municipios de Soracá, Motavita, Úmbita, Chiquiza, Siachoque, Ventaquemada y Tunja de Boyacá. Asociados a la cooperativa COPABOY*. Tunja: UPTC.
- Cara, C., Ruiz, E., Oliva, J., Sáez, F., & Castro, E. (2008). Conversion of olive tree biomass into fermentable sugars by dilute acid pretreatment and enzymatic saccharification. (Elsevier, Ed.) *Bioresource technology*, 1869-1876.
- Cardona, C., & Sánchez, O. (2007). *Producción de alcohol carburante: una alternativa para el desarrollo agroindustrial*. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Caldas. Manizales: Universidad Nacional.
- Cardona, M., Álvarez, C., & Sáenz, S. (2010). Sistema, cadena, empresa y negocio: desafíos en conceptualización y articulación para la competitividad del agro. *Suma de Negocios*, 59-71.

Castaño, P., Cardona, B., Mejía, G.C., & Acosta, C. (2011). Producción de Etanol a partir de harina de yuca en un sistema de hidrólisis enzimática y fermentación simultánea. *Dyna*(169), 158 - 166.

Castellanos, O., Ramirez, D., & Montañez, V. (2006). Perspectiva en el desarrollo de las enzimas Industriales a partir de la Inteligencia Tecnológica. *Ingeniería e Investigación*, 26(2), 52-67.

Chow, V., Maidment, D., & Mays, R. (2005). *Hidrología Aplicada*. Bogotá: Mac-Graw Hill.

Contreras, A. (2007). *Variedades de Papa para la obtención de etanol*. Universidad Austral de Chile, Instituto de Producción y Sanidad Vegetal.

Contreras, H., & Mac Cawley, A. (2006). Implementación de un modelo de costos ABC en una empresa vitivinícola. *Revista Agraríá*, 10.

Cooper, R., & Kaplan, R. (2000). *Coste y efecto, cómo usar el ABC, el ABM y el ABB para mejorar la gestión, los procesos, los procesos y la rentabilidad*. Barcelona, España: Gestión.

Costas, G. B. (2009). Structural Transitions and Related Physical Properties of Starch. En E. Inc. (Ed.), *Starch: Chemistry and Techonology* (págs. 293 -359). Grecia.: Third.

Coultate, T. (1998). *Manual de Química y Bioquímica de los Alimentos*. (Segunda ed.). Zaragoza, España: Acribia S.A.

Debet, R., & Gidley, J. (2006). Three classes of starch granule swelling: Influence of surfade proteins and lipids. *Carbohydrate Polymers.*, 64(3), 452 -465.

Departamento Nacional de Planeación DNP. (23 de junio de 2008). *dnp*. Recuperado el 25 de noviembre de 2013, de <http://dnp.gov.co/portals/o/archivos/documentos/subdireccion/conpes/3527.pdf>

DESARROLLO, B. I. (s.f.). <http://www.iadb.org>. Obtenido de <http://www.iadb.org>: <http://www.iadb.org/es/proyectos/project-information-page,1303.html?id=co0221>

Devaux, A. e. (2010). *El sector papa en Ila región andina: Diagnóstico y elementos para una visión estratégica (Bolivia, Ecuador y Perú)*. Lima Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP).

División de comercio y de mercados de la FAO. (2008). *Año Internacional de la papa*. Recuperado el 4 de mayo de 2011, de División de comercio y de mercados de la FAO: <http://www.potato2008.org/esp/lapapa/IYP-3es.pdf>

Douglas-Crabb, W., & K-Shetty, J. (1999). Commodity scale production of sugars from strches. *Current Opinion in Microbiology*, 2(3), 252-256.

Espín, S., Villacrés, E., & Brito, E. (2003). Caracterización Físico - Química, nutricional y Funcional de Raíces y Tubérculos Andinos. En V. Barrera, C. Tapia, & A. Monteros, *Raíces y Tubérculos andinos: alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador*. (pág. 104). Quito - Lima, Ecuador- Perú: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Centro Internacional de la Papa.

Espinel, C., Martínez, C., & Pinzón, R. (2005). *La cadena de la papa en Colombia. Una mirada global de su estructura dinámica 1991-2005*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio de Agrocadenas. Bogotá, D.C., Colombia: Giro Editores Ltda.

FAO. (2001). *FAOSTAT*. Recuperado el 23 de Marzo de 2011, de Statistics Division: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.

FAO. (noviembre de 2013). *FAO*. Recuperado el 23 de noviembre de 2013, de FAO: <http://www.rlc.fao.org/es/conozca/prioridades/agricultura-familiar/intensificaci3n-sostenible-de-la-producci3n-familiar>

Federación Colombiana de Productores de papa. (10 de Diciembre de 2010). *Fedepapa*. Recuperado el 15 de 03 de 2011, de Acuerdo de competitividad de la cadena agroalimentaria de la papa en Colombia: <http://www.fedepapa.com/wp-content/uploads/pdf/acuerdo-competitividad-cadena-agroalimentario>

Fedesarrollo. (2012). *Informe final monopolio de la industria de licores*. (I. I. Huila, Productor) Recuperado el 15 de septiembre de 2013, de <http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/An%C3%A1lisis-del-funcionamiento-FEDES-Informe-final>

Fennema, O. (2000). Carbohidratos. En O. Fennema, *Química de alimentos*. Zaragoza: Acribia.

Fernández Sevilla, J. (2004). *ual*. Recuperado el 12 de febrero de 2012, de <http://www.ual.es/docencia/jfernand/ATA/Tema5/tema5-hidratos de carbono.pdf>.

Fuentes, L. F. (2004). *Umbral Científico*. (Fundación Universitaria Manuela Beltrán) Recuperado el 05 de Noviembre de 2012, de REDALYC.UAEMEX.MX/PDF/304/30400411.PDF

Garbey, N. (2003). Antecedentes, ventajas y limitaciones del costeo por actividades. *Gestiopolis*, 4(12), 1-10.

García, A., & Walter, W. (1998). Physicochemical characterization of starch from Peruvian sweet potato selections. *Starch*(50), 331 -337.

García, A., & Walter, W. (1999). Physico chemical characterization of starch from Peruvian sweet potato selection. *Starch Journal Food Science & Technology*(50), 331-337.

García, H., & Gomes, C. (2002). Investigación y Transferencia de tecnologías sobre calidad de almidones, azúcares y valoración energética de materiales de papas. *Ministerio de Agricultura*., 60.

García, M., Quintero, R., & López, A. (1993). *Biotecnología Alimentaria*. Mexico: Limusa.

García, M., Quintero, R., & López, A. (2009). *Biotecnología alimentaria*. Mexico: Limusa S.A.

Giraldo, O., & Correa, Q. (1995). *Diseño de un proceso batch para la obtención de dextrosa por hidrólisis enzimática del almidón*. Tesis, Universidad del Valle, Santiago de Calí.

Gnecco, J. (2005). El precio de la melaza continua creciendo. *Tecnicaña*, 17(9), 31-32.

Gomes, R., & Wong, D. (1998). Procesamiento de la papa. *Agroecológica Indoagro*(5), 4-7.

Gonzales, L. F. (2004). Manejo y Conservación de la Cuenca Quebrada "La Vieja". bogota: el umbral científico.

González Fernández, J., & Molina Córdoba, M. (2006). Estudio de los factores que afectan la hidrólisis enzimática y el proceso fermentativo para la producción de alcohol a partir de papa (*Solanum tuberosum*). *Ingeniería*, 29-39.

Grace, M. (1977). Elaboración de la yuca. *Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO*, 116.

Gregg, J., & Saddler, N. (1995). Bioconversion Of Lignocellulosic Residue To Ethanol: Process Flowsheet Development. *Biomass and Bioenergy*, 9, 287 -302.

Gutiérrez Pulido, H. (2005). *Calidad Total y Productividad*.(S. C.V, Ed.) Mexico: McGraw Hill.

Hernández, M. (2007). *Boletín Electrónico No 8*. Recuperado el 20 de Junio de 2011, de Universidad Rafael Landívar: http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_08_INGO1.pdf

Herrera, C.A; Fierro, L.H; Moreno, J.D. (2000). *Manejo Integrado del Cultivo de la papa*. Mosquera: Produmedios.

Hongsheng, L., Fengwei, X., Long, Y., Ling, C., & Lin, T. (2009). Thermal processing of starch-base polymers. *Progress in Polymer Science*(34), 1348-1368.

Hoover R. (2002). Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carboh. Polym*, 49(4), 425-437.

Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate Polymers*(45), 253 - 267.

Horngren, C., Foster, G., & Datar, S. (2002). *Contabilidad de Costos: un enfoque general*. Mexico: Pearson Education.

<http://mivalledelcauca.weebly.com>. (s.f.). *mivalledelcauca.weebly.com*. Obtenido de <http://mivalledelcauca.weebly.com>: <http://mivalledelcauca.weebly.com/lago-calima.html>

Hyun-Jung, C., & Qiang, L. (2009). Impact of molecular structure of amylopectin and amylose on amylose chain association during cooling. *Carbohydrate Polymers*(77), 807 - 815.

Jayakody, L., Hoover, R., Liu Q, W. E., & Toro, V. (2005). Studies on tuber and root starches Structure and physicochemical properties of Inula (*Solenostemon rotundifolius*) starches grown in Sri Lanka. *Food Research International*(38), 615-629.

Kokini, J., Lai, L.-S., & Chedid, L. (1992). Effect of starch structure on starch rheological properties. *Food Technology*(3), 124 - 138.

Kuakpetoon, D., & Wang, Y. (2008). Locations of hypochlorite oxidation in corn starches varying in amylose content. *Carbohydrate Research*, 343(1), 90-100.

Lajolo, F., & Wenzel-Menezes, E. (2006). *Carbohidratos en Alimentos Regionales Iberoamericanos*. Sao Paulo , Brasil: Universidad de Sao Paulo.

Lezame, S. (2006). *Determinación a escala de laboratorio de las variables más importantes para la obtención de etanol a partir del almidón de yuca*. Pereira (Risaralda): Universidad Autónoma de Occidente.

Lideboom, N., Chang, P., & Tyler, R. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, white and small granule starches. *Starch/ Stärke*, 56(3-4), 89-99.

Lizarazo, S; Villarreal de Rojas, M; Joya, C. (2011). *Caracterización de la oferta territorial de papa para la constitución de un Centro de Gestión Veredal en los municipios de Chiquiza y Ventaquemada*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, Boyacá. Tunja: UPTC.

López, S. A. (2011). *Proyecto de implementación de un sistema de producción a gran escala, de etanol al 70% peso/peso, a partir de una dilución de etanol al 95% peso/peso, en una empresa en la Ciudad de Guatemala*. Escuela de Estudios de Postgrado. Guatemala: Maestría en Administración Industrial y Empresas de Servicios.

Lorenzo, P. (1993). Determinación de algunos Componentes Químicos relacionados con la calidad de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Serie Cultivos Tropicales*, 14(2-3), 132 - 134.

Loyala, L., Oyarce, C., & Acuna, C. (2010). Evaluación del contenido de almidón en papa (*Solanum tuberosum* C.V. DESIRÉE) producidas en forma orgánica y convencional, en la Provincia de Curicó, Región del Maule. *Idesia (Arica)*, 28(2), 41-52.

Lujan, L. (1994). La ecología de la papa. *Revista Papa. Federación Colombiana de Productores de Papa.*, 36.

Machado Cabezas, A. (s.f.). *Observatorio iberoamericano*. Recuperado el 12 de marzo de 2013, de <http://observatorioiberoamericano.org/RICG/C2%/BA3/Angel%20Machado%20Cabezas.pdf>

Manquillo, C., Mora Arango, D., & Sánchez Hernández, Y. A. (2012). *Planemaiento estrategico de la industria de las bebidas alcohólicas destiladas en Colombia*. Tesis para optar al grado de Magister en Administración de Negocios Globales, Pontificia Universidad Católica del Perú.

Martínez, H. (1 de 4 de 2006). *Agroindustria y Competitividad: Estructura y dinámica en Colombia*. (IICA, Ed.) Recuperado el 5 de mayo de 2011, de books.google.com.co: <http://books.google.com.co/books?id=RSzw3sgBr28c>

Mera, I., & Carrera, C. (2005). Obtención de glucosa a partir de yuca *Manihot sculenta*. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 3(1), 54 - 63.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (30 de Octubre de 2010). *Agrocadenas*. Recuperado el 10 de Mayo de 2011, de Observatorio Agrocadenas Colombia.: <http://www.minagricultura.gov.co/agrocadenas/papa>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2010). *Acuerdo de Competitividad de la cadena agroalimentaria de la papa en Colombia*. Recuperado el 15 de mayo de 2012, de Fedepapa: <http://issuu.com/fedepapa/docs/acuerdo-de-competitividad-de-la-cadena-agroalimentaria>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR. (30 de Agosto de 2006). *agrocadenas*. Recuperado el 20 de abril de 2011, de Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural: <http://www.agrocadenas.gov.co>

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). *Guia Metodologica 1. Incorporacion de la Prevencion y la Reduccion de Riesgos en los Procesos de Ordenamiento Territorial*.

Molina, J. (2010). Claves para el desarrollo territorial rural. *Agronomía Colombiana*, 28(3), 429-435.

Monsalve, G., Medina de Pérez, V., & Ruíz, C. (2006). Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca. *Dyna*(150), 21-27.

Montes, M. d., & Magaña, I. (Septiembre - Octubre de 2002). Enzimas con aplicación industrial. *XXX Aniversario de biotecnología y Bioingeniería., Avance y Perspectiva*.

Montesinos, T., & Navarro, J. (2000). Production of alcohol from raw wheat flour by amyloglucosidase and *Saccharomyces cerevisiae*. *Enzymes Microbial Technol*(27), 362-370.

Montoya R. M., J., Q. S., Sanchez T. O., & Cardona A. C. (2012). Evaluación económica del proceso de obtención de alcohol carburante a partir de caña de azúcar y maíz. *Revista Universidad EAFIT*, 139(41), 76 - 87.

Moreira, J. R., & Goldemberg, J. (1999). The alcohol program. *Energy Policy*, 27(4), 229 - 245.

Moreno J D. (1999). Manual para el manejo de pruebas regionales de papa. *Boletín Interno CORPOICA*, 15.

Moreno, J. D., Cerón, L., Zapata, J. L., & Peña, V. A. (2006). Corpoica - Mary: variedad de papa mejorada de alto rendimiento para consumo en fresco y procesamiento en hojuelas. *Innovación & Cambio tecnológico*, 4(4), 1,2.

Moreno, M. J. (1996). Problemática del cultivo de la papa en Cundinamarca y Boyacá. Papas colombianas con el mejor Entorno Ambiental. *Fedepapa*, 93-102.

Murcia, H. (2010). Modelo Agroempresarial con Enfoque territorial, parrafo development alimentario. *Primer Coloqui en Desarrollo Rural con Enfoque territorial* (págs. 114-115). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Murgas Torres, J., & Vásquez Monterrosa, M. (2013). *Evaluación de la obtención de bietanol a partir del almidón de ñame (diosorea rotundata, dioscorea alta y dioscorea trifida) mediante hidrólisis enzimática y posterior fermentación*. Tesis.

Nigam, P., & Singh, D. (1995). Enzyme and microbial system involved in starch processing. *Enzy Microb Technology*, 17, 770 - 778.

Ñustez C.E, .. (s.f.). *grupo de investigación papa*. Recuperado el 13 de julio de 2012, de <http://www.papa.unal.com>

Ñustez, C.E. (30 de Marzo de 2011). *Grupo de investigación en papa*. Recuperado el 12 de Junio de 2011, de [papaunc.edu.co](http://www.papaunc.edu.co): http://www.papaunc.edu.co/2011_flipbook

Oates, C. (1997). Hacia una comprensión de la estructura del gránulo del almidón y la hidrólisis-. *Tendencias en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(11), 375 - 382.

Ortiz, E., & Hernández, H. (Diciembre de 1985). Algunas afectaciones producidas por los factores climáticos, Efectos de la fertilización nitrogenada. *Respuesta a las labores en el cultivo de la papa (Solanum tuberosum L.) Cultivos Trópicales*.

Osman, Y., & Inrgam, L. (1985). Mechanism of Ethanol of fermentation in Zymomonas mobilis CP4. *Biotechnology Letter*, 164(1), 173-180.

Osorio, G., Gutierrez, P., & Marín, M. (12 de Mayo de 2012). Revisión: Spongospora subterranea f.sp. subterranea y Virus Asociado potato mop- top vitus (PMTV), Dos Patógenos Reemergentes en los Cultivos de papa de Colombia. *Facultad Agronomía Nacional*, 65(1), 6362.

Ospina, A., & Palacios, M. (1994). *Efecto del cultivo de levaduras sobre la carga orgánica de los efluentes de SUCROMILES S.A*. Trabajo de grado, Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Cali. Coombia.

Ovalle, R., & Rincón, P. M. (2005). *Obtención y caracterización físico química y funcional de la harina integral y almidón procentes de la semilla Chachafruto (erthrinaedulis) para su aplicación en alimentos de consumo humano*. Bogotá.: Universidad Nacional de Colombia.

Palacios, C. e. (2008). Efecto de la fertilización sobre la calidad de la papa para procesamiento en dos suelos antioqueños con propiedades ándicas. *Agronomía Colombiana*, 26(3), 487-496.

Pérez, S. (2010). *Sciencein school*. Recuperado el 17 de febrero de 2013, de Sciencein school: <http://www.scienceinschool.org/2010/issue14/starch/spanish>

Pohle, T., & La Londe, B. (1994). Implementing activity-based costing (ABC) in logistics. *Journal of Business Logistics*, 15(2), 1-23.

Porras, P.; López, G.Y. (Mayo de 2004). Guía ambiental para el Cultivo de la papa. *Revista Fedepapa*, 14-26.

Proexport. (25 de Julio de 2008). *Ministerio de Comercio exterior*. Recuperado el 20 de Junio de 2011, de Base de Datos BACEX: <http://www.servicios.vace.gov.co/mincomercio/portal/mincomercio/publicaciones>

Ramirez, Y. M. (2010). Seston fluxes in the dam of a Colombian tropical reservoir.

Restrepo, J. (2002). An analysis of the contractual relations between Potato growers and processors in Columbia. . *Revista Latinoamericana de la papa*, 13(1), 1-23.

Rivier, M., Moreno, M., Alarcón, F., Ruíz, R., & Dufour, D. (2001). Almidón agrio de yuca en Colombia. Planta procesadora. *Centro Internacional de Agricultura Tropical*, 251.

Roberts, T. (1997). Papel del fósforo y del potasio en el establecimiento de los cultivos. *Información Agronómicas*, 26, 1-4.

Rocha, d. S., Caneiro, d. A., & Franco, L. C. (2010). Effect of enzymatic hydrolysis on some physicochemical properties of root and tuber granular starches. *Ciência e Tecnologia de alimentos*, 30(2), 544 - 551.

Rodríguez, J. E., Rivera, L., & Olmeda, M. (1990). *Gestión comercial de la empresa Agroalimentaria*. Madrid: Mundi-Prensa.

Rodríguez, L. (2010). Origen y evaluación de la papa. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 1(28), 9-17.

Rodríguez, L. F., & Bermúdez, L. (1990). *Fundamentos de Agroindustria*. Tunja: UPTC.

Rodríguez, M. (2004). La producción y el comercio de la papa en el contexto internacional y latinoamericano. *Congreso de la Asociación Latinoamericana de la papa*. CEPAL, 9-12.

Rodríguez, R., & Ramirez, L. (2011). La agroindustria de la papa criolla en Colombia. Situación actual y retos para su desarrollo. *Gestión & Sociedad*, 17-30.

ROMERO R, J. .. (1996). Acuiquímica. Bogotá: Escuela colombiana de ingenieros.

Ruíz, P., & Vásquez, C. (2001). Hidrólisis enzimática de desechos de umarí(*Poraqueiba sericea* Tulasne) y de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Amazónica de Investigación Alimentaria*, 1(1), 22-29.

Sanchez, O., & Cardona, C. (2005). *Producción biotecnológica de alcohol carburante I: Obtención a partir de diferentes materias primas*. Recuperado el 15 de febrero de 2013, de Dyna: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-1844420050011000005&lng=es&nrm=iso

Sánchez, O., & Cardona, O. (2008). Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource Technology*, 99(13), 5270 - 5295.

Sangeetha, G., & Asimk, J. (2006). Effect of starch blends on mechanical properties of loco density polyethylene (LDPE) film. *Indian Chemical Engr., Section A: 48(3)*, 185-189.

Santos, R. (2004). *Modelamiento de negocios basado en ABC y ABM*. Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Ingeniería, Santiago de Chile.
SAWYER. (2001). *Química para Ingeniería Ambiental*. Bogotá: Mc Graw Hill.

Scott, G. e. (1997). El comercio exterior de la papa en América Latina. *Comercio Exterior*, 984-992.

Scragg, A. (1999). *Biología Ambiental*. Zaragoza- España: Acribia.

Segmark, K., Hermersson, K., Nilsson G, Nilsson P, O., Andersson, R., & Svensson, E. (2002). Comparison of potato amylopectin starches and potato starches influence of year and variety. *Carbohydrate Polymers(47)*, 331 - 340.

SENA, S. N. (2003). *cnp*. Recuperado el 14 de febrero de 2013, de [cnp: http://www.cnp.org/promes/cd/MedicionDeLaProductividadDel ValorAgregado](http://www.cnp.org/promes/cd/MedicionDeLaProductividadDelValorAgregado)

Singh, J., & Singh, N. (2001). Studies on the morphological, thermal and rheological properties of starch separated from some Indian potato cultivars. *Food Chemistry(75)*, 67-77.

Singh, N., Kaur, L., Singh, N., & Singh-Sekhon, K. (2005). Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars. *Food Chemistry*, 89(2), 235-259.

Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Singh Sodhi, N., & Singh Gill, B. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry(81)*, 219-231.

Singh, N., Singh-Jaspreet., Kaur, L., Singh- Sadhi, N., & Singh-Gil, B. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81(2), 219 - 231.

Solleiro J., P. G. (1996). Investigación, desarrollo y difusión de la tecnología en la agricultura y la agroindustria en México. *El cambio tecnológico en la agricultura y las agroindustrias en México UNAM*, 15.

Sumanth, D. (1999). *Administración para la Productividad Total*. Mexico: Continental S.A. de C.V.

Taherzadeh, M., & Karimi, K. (2007). Acid - Based Hidrolysis Processes for Ethanol from Lignocellulosic Materials. *BioResources*, 2, 472 - 499.

Talburt, W., & Smith, O. (1975). *Elaboración de patatas* (Tercera ed.). Westport,, Connecticut: Av Publishing Co.

Tanaka, A. (2002). Thermodynamic and activation parameters for the hydrolysis of amylose white Bacillus α -amylases in a diluted anionic surfactant solution. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 39(2), 485 - 490.

Tester, R., & Karkalas, J. (1999). Swelling and gelatinization of oat starches. *Cereal Chemistry*(73), 271-277.

Tester, R., Karkalas, J., & Qi, X. (. (2004). Starch - composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39(2), 151-165.

Tester, R., Qi, X., & Karkalas, J. (2006). Hydrolysis of native starches with amylases. *Animal Feed Science and Technology*, 130(1-2), 39-54.

Thiele, G., Hareau, G., Suárez, V., Chujoy, E., Bonierbale, M., & Maldonado, L. (2008). Varietal change in potatoes in developong countries and the contribution of the Internacional Potato Center:1972-2007.

Tummala, V., Chin, K., & Leung, W. (2002). An activity-based costing model to reduce COPQ. *The Quality Management Jorunal*, 9(3), 32-47.

Van deer Zaag, D. (1975). Cultivo de la papa en los países bajos. *CIDA*.

Van Soest, J., & Vliegthart, F. (1997). Crystallinity in starch plastics: consequences for material properties. *Trends in biotechnology*(15), 208-213.

Vanegas, M. (2001). *Productividad Total*. Mexico: Castillo S.A. de C.V.

Vasquez, H., & Dacosta, O. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. (U. A. Universidad Autónoma Metropolitana, Ed.) *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, VIII(4), 249 -259.

Vásquez, S., & Tham, T. (2007). *Dinalnet*. (L. d. Archeobiología, Ed.) Obtenido de Dinalnet: dinalnet.unirioja.es/descargas/articuls/2982289.pdf

Vazquez, H., & Dacosta, O. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 8(4), 249 - 259.

Villareal H. J; Porrás P.D; Santa A; Lagoeyte, J; Muñoz, D. (10 de Diciembre de 2007). *Costos de Producción de papa en las principales zonas productoras de Colombia*. Recuperado el 10 de 4 de 2011, de Federación Colombiana de Productores de papa: <http://www.fedepapa.org.co/files/estadistica/estudio.pdf>.

Wang, L., & White, P. (1994). Structure and physicochemical properties of starches from oats with different lipid content. *Cereal Chemistry*, 75(5), 443-450.

Wang, L., & White, P. (1994). Structure and properties of amylose, amylopectin and Intermediate materials of oat starches. *Cereal Chemistry*, 71(5), 263 - 268.

Whistler, R., & Daniel, J. (1984). Molecular structure of starch. En R. Whistler, J. BeMiller, & E. Paschall, *Starch:chemistry and technology* (págs. Cap 6. p 153-182). San Diego, San Diego: Academy.

Wingrove, A., & Caret, R. (1981). *Química Orgánica (M. Chu, P. Traduc.)*. México: Harla.

Woolfe, J. (1987). *The potato in the human diet*. London, Inglaterra: Cambridge University Press.

Zanin, G., Santana, C., Bon, E., Giordano, R., Morales, F. d., Andrietta, S. R., y otros. (2000). Brazilian Bioethanol Program. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 84 (86), 1147 - 1161.

Zhao, J., & Wistler, R. (1994). Spherical aggregates of starch granules as flavor carriers. *Food ttechnology*, 48(7), 104 -105.

Zugarramurdi, A.; Parin, M.A. (1999). *Ingeniería económica aplicada a la industria pesquera*. Roma: FAO.

Zuleta J. L A.; Jaramillo G. L;. (2000). *La industria de licores en Colombia*. Estudio elaborado para la Industria Internacional, FEDESARROLLO, Bogotá.