Análisis de tecnologías para la obtención de etanol a partir de materias primas amiláceas

Ramírez Herrera Sharon Lilibeth[1]
agi2017077@uea.edu.ec

Riera Riera ErikaViviana [1]
agi2017075@uea.edu.ec

Villafuerte Carrillo Franklin Rolando [1]
fvillafuerte@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la tierra, Carrera de Agroindustrial (1)

Resumen

La producción de etanol usualmente es obtenida de materias primas azucaradas, sin embargo, existen materias primas ricas en carbohidratos complejos (almidón) que no han sido industrializadas ni aprovechadas de su gran potencial como alternativas para la obtención de etanol, por lo tanto, el objetivo de la presente investigación es analizar las diferentes tecnologías para la obtención del mismo a partir de materias primas ricas en almidón como la yuca, papa china, maíz, achira, entre otras, dando así opciones viables en la producción de este compuesto. Para el cumplimiento del trabajo de investigación se siguió la metodología prisma 2020 que consiste en buscar, seleccionar, analizar, revisar, y redactar la información encontrada, esta metodología es usada generalmente para realizar trabajos de revisiones bibliográficas, por lo que se utilizó buscadores y bases de datos donde se encontró libros, artículos científicos, tesis de pregrado-posgrado, proyectos de investigación. Dentro de las tecnologías utilizadas en la producción de etanol requiere necesariamente de un proceso de hidrólisis, que consta de tres etapas como lo mencionan algunos tutores, éstas son la gelatinización, licuefacción, sacarificación, con el fin de obtener los azúcares sencillos y por consiguiente fermentar estos obteniendo etanol. Existen tecnologías como es la hidrolisis y fermentación simultánea que ha permitido obtener etanol a partir del maíz, yuca y papa mientras que la hidrolisis enzimática y posterior fermentación es utilizada para el procesamiento de tubérculos en general. Esto permite aprovechar de forma eficiente el contenido de almidón ya que comúnmente es utilizado como materias primas, cuando existe sobreproducción o a su vez su proceso de industrialización consiste en escoger la materia prima principal.

Palabras Clave: almidón, hidrolisis, etanol.

Abstract

The production of ethanol is usually obtained from sugary raw materials, however, there are raw materials rich in complex carbohydrates (starch) that have not been industrialized or taken advantage of their great potential as alternatives for obtaining ethanol, therefore, the objective of this research is to analyze the different technologies for obtaining ethanol from raw materials rich in starch such as cassava, Chinese potato, corn, achira, among others, thus giving viable options in the production of this compound. For the fulfillment of the research work, the prism 2020 methodology was followed, which consists of searching, selecting, analyzing, reviewing, and writing the information found, this methodology is generally used to carry out bibliographic reviews, so search engines and databases were used where books, scientific articles, undergraduate and graduate theses, and research projects were found. Among the technologies used in the production of ethanol, it necessarily requires a hydrolysis process, which consists of three stages as mentioned by some tutors, these are gelatinization, liquefaction, saccharification, in order to obtain simple sugars and consequently ferment them to obtain ethanol. There are technologies such as hydrolysis and simultaneous fermentation that have allowed obtaining ethanol from corn, cassava and potato, while enzymatic hydrolysis and subsequent fermentation is used for the processing of tubers in general. This allow to efficiently take advantage of the starch content, since it is commonly used as raw material, when there is overproduction or its industrialization process consists in choosing the main raw material.

Keywords*:* starch, hydrolysis, ethanol.

1. INTRODUCCIÓN

El agotamiento de reservas de hidrocarburo y la continua preocupación por los altos niveles de contaminación debido a su producción, el elevado precio de este recurso como carburante para la industria, son elementos que con el tiempo han implicado el desarrollo y utilización de biocombustibles, pero para ello se tiende a desarrollar diferentes metodologías. En los últimos veinte años uno de los principales objetivos de la biotecnología es la producción de combustibles a partir de sustratos no convencionales (energía renovable) como la biomasa formada por organismos fotosintéticos que almacenan energía en forma de azucares simples o complejos y mediante la fermentación se transforma en etanol. (Castaño, Cardona, Mejía, & Acosta, 2011)

Las materias primas utilizadas para la obtención de etanol dependen de la contextura vegetal y la forma en la que almacenan energía, así las características que tienen las materias primas determinan que pretratamientos y tratamientos son necesarios para obtener los azúcares fermentables, dando así la conversión a etanol por microorganismos. (Gómez & Pérez, 2018).

A partir de esta perspectiva existen materias primas amiláceas autóctonas del Ecuador ricas en carbohidratos que brindan otras alternativas de producción de etanol, ya que la mayoría de las veces se desconoce de su composición en contenidos de almidón como es el maíz, la papa china, la yuca, el camote, la achira, la zanahoria blanca, etc. Las cuales no han sido aprovechadas dentro de la industria como materia prima de obtención de etanol, sin embargo, se tiene la disponibilidad del producto, de la misma manera se conoce muy poco acerca de la tecnología para su producción que dependiendo de la materia prima debe mejorarse mediante la introducción de innovaciones que puedan reducir el consumo de energía y producir un mayor rendimiento volumétrico de etanol. (Peláez, Gómez, & Márquez, 2012)

Actualmente la agroindustria es considerada como la primera etapa de transformación y agregación de valor a las distintas materias primas agropecuarias en productos industriales haciendo posible la transformación de estas materias primas amiláceas en etanol por degradación del almidón mediante hidrolisis enzimática o hidrólisis alcalina y posterior fermentación simultánea, con este último proceso Castaño & Mejía en 2008, obtuvieron etanol a partir del almidón de yuca con un previo proceso de sacarificación, donde las enzimas hidrolíticas y los microorganismos fermentativos se encuentran en el mismo reactor, así mismo Quinatoa & Morales obtuvieron etanol a partir de papa china por hidrólisis enzimática, por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es analizar las diferentes tecnologías para la obtención de etanol a partir de materias primas ricas en almidón.

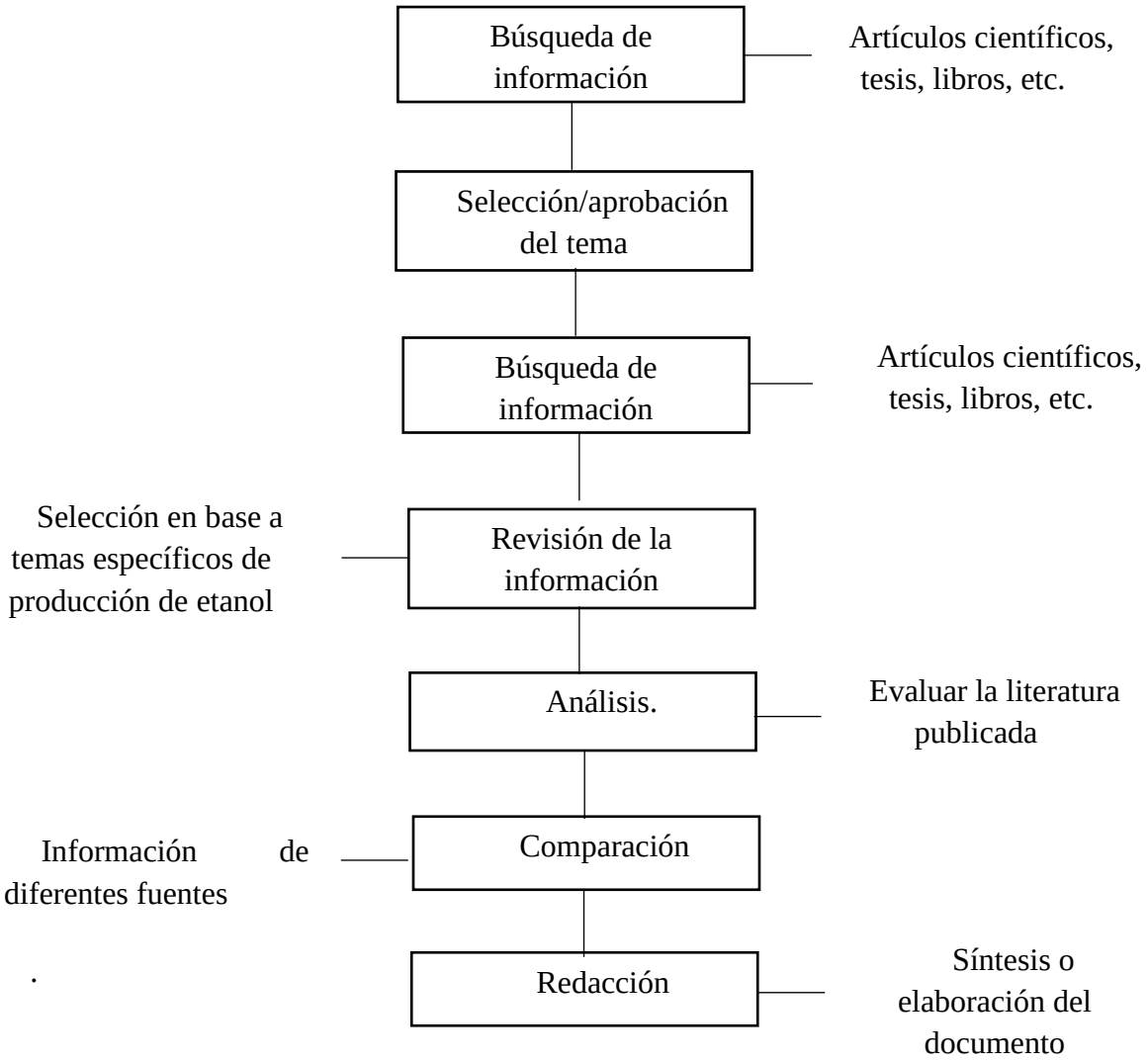
2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación que describe las tecnologías de producción de etanol fue realizado basándose en el método prisma 2020, donde incluye avances en los métodos para identificar, seleccionar, evaluar y sintetizar estudios en revisiones bibliográficas (figura 1) (Matthew J. Page, 2021)

Descripción de la metodología prisma 2020 utilizada con modificaciones.

Primero se buscó información para verificar si existe la evidencia necesaria para la elaboración del presente artículo científico, mismo que se muestra como una revisión sistemática, continuamente se adentró en la búsqueda de información basándose en distintas bases de datos, tales como: Google académico, scielo, pubmed, Dialnet, academia.edu, Redalyc, ciencia.science.gov , plataformas que proporcionan la información que se encuentra en este trabajo provenientes de fuentes bibliográficas; de libros, revistas (artículos científicos), tesis de grado, posgrado, páginas web, informes, archivos pdf, seminarios, congresos, simposios, proyectos de investigación, ponencias, ensayos, etc.

Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología prisma para elaboración del Trabajo de Integración Curricular



Adaptado de (Matthew J. Page, 2021)

Dentro de la revisión de la información, se seleccionó la más relevante que aporte a la complementación del presente articulo científico, de acuerdo con criterios específicos en donde se expliquen las tecnologías para la obtención de etanol a partir de materias primas ricas en almidón.

El análisis de la información evalúa fechas de publicación que proporcionen temas relacionados con el ámbito a investigar de preferencia en idioma español, especificando también las fechas en las que cada recurso se consultó por última vez incluyendo autores.

La comparación de la información se enfoca a descifrar la relación de la información obtenidas de las distintas fuentes, mediante una lectura comprensiva y un análisis de similitudes y diferencias de información.

Se redacta la información con palabras sencillas y ordenadas tanto como sea posible con el fin de comunicar al lector información clara y precisa.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Principales materias primas amiláceas del Ecuador

Las fuentes utilizadas para la obtención de etanol son aquellas materias primas con contenido alto de almidón como los cereales, tubérculos y rizomas. En el Ecuador se cultiva materias primas ricas en almidón como son la yuca, ñame, camote, arroz, quinua, maíz, papa china, papa, achira, oreja de elefante o pata y zanahoria blanca, mimas que han son descritas en la tabla 1.

Tabla1: Principales materias primas ricas en almidón del Ecuador

Materia prima	Descripción	Contenido %
Yuca *(Manihot esculenta)*	Su clasificación como de calidad culinaria depende mucho de su uso final, como por ejemplo cuando es destinada al consumo humano directo como: industrial o cuando son destinados a la producción de subproductos como harina, almidón, trozos secos; o por otro lado como de doble propósito, esto quiere decir, fenotipos que podrían ser utilizados tanto para el consumo humano como para el uso industrial. (Salcedo Mendoza & Figueroa Flórez, 2017).	Tienen un porcentaje de almidón de 62.23% de acuerdo con el análisis espectrofotométrico, 81,48% de carbohidratos, 13,2% de humedad. (Cobana, 2007)
Ñame *(Dioscorea alata):*	Es eficiente para producir energía digestible, gracias a su alta composición de almidón que se traduce en fuente rica de carbohidratos, acompañada además de grandes proporciones de fósforo y potasio. (Salcedo Mendoza & Figueroa Flórez, 2017)	Presentan una pureza interpretada como almidón entre el 93,6 a 95,3 % en materia seca (Espitia, 2016)
Camote (*Ipomoea batatas)*	Materia prima alternativa para las industrias procesadoras de alimentos balanceados para animales, dado que sus tubérculos poseen alto valor energético y el follaje puede aportar alto valor proteico, su alto contenido de almidón, también se utilizan para la producción de harinas, fabricación de productos de fermentación, incluyendo vino, etanol, ácido láctico, acetona y butanol. (Salcedo Mendoza & Figueroa Flórez, 2017)	Según CIP (2015) sus concentraciones de almidón varían de 55.8% a 73.8%expresado en peso seco siendo la sacarosa, glucosa y fructosa los principales azúcares en los tubérculos frescos. Medina (2013) evaluó la composición del camote expresados en base seca con un porcentaje de almidón

		del 72% y expresados en base húmeda un porcentaje de almidón del 23%.
Arroz (*Oryza sativa L.*):	El arroz constituye un elemento esencial en la dieta de la población, proporcionando el 20% de la energía obtenida a través de alimentos a nivel, su temperatura de gelatinización está entre 68 – 84 3 °C. (Solís & Malavé, 2019).	Su contenido de almidón es alto, en el rango entre 84 – 88%. (Solís & Malavé, 2019).
Quinua (*Chenopodium quinoa)*	Es primitiva de la región andina, siendo una materia prima almidonada que cuenta con un alto contenido de carbohidratos, los cuales se encuentran constituidos primordialmente por almidón y azúcares. (Solís & Malavé, 2019)	Presenta aproximadamente 3% de azúcares simples, mayormente maltosa, seguido de D-galactosa, D-ribosa, fructosa y glucosa, y entre 52% y 69% de almidón, el que se gelatiniza a una temperatura entre 62,6 °C y 67 °C, menor que la del almidón de malta y el de arroz. (Solís & Malavé, 2019)
Maíz *(Zea mays L. ssp amiláceo*	Esta materia prima es básica en cuanto la industria de transformación, con la cual se producen almidón, aceite y proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes alimenticios y, desde hace poco, combustible, es uno de los principales alimentos de los habitantes de la sierra. (FAO, s.f)	Contiene aproximadamente el 90% de almidón y el 9% de proteína, y pequeñas cantidades de aceites, minerales y elementos traza. (Milagros, 2018)
Papa china *(Colocasia esculenta)*	Gran potencial para la obtención de almidón, fines industriales y producción de alimentos procesados; eficienciente como una planta productora y almacenadora de carbohidratos, una materia prima viable para la extracción de almidón, producción de alcohol, pegantes, entre otros. (Quezada, 2013)	Tiene un rendimiento de almidón de 60,2% en base seca. (Quezada, 2013) Morales y Quintoa (2020) señala que el almidón representa más del 75% peso seco y para Acán (2020) la papa china presenta un porcentaje de

		almidón del 77% en base seca.
Papa *(Solanum tuberosum)*	En lo que respecta a su peso en seco, el contenido de proteína de la papa es similar al de los cereales, y es muy elevado en comparación con otras raíces y tubérculos. (Gómez & Pérez, 2018)	La papa contiene un gran contenido de carbohidratos, pero, cuando está recién cosechada esta tiene un 80% de agua y un 20% de materia seca y entre el 60 % y el 80 % de esta materia seca es almidón. (Gómez & Pérez, 2018)
Achira *(Candida edulis)*	Elabora un mayor rendimiento de almidón por unidad de superficie, usualmente esto será de acuerdo con la cantidad y edad de rizomas. El almidón de la achira tiene mucho mejor sus propiedades fisicoquímicas y además es más resistente a los procesos industriales que los almidones provenientes de fuentes cereales. Las múltiples aplicaciones que presenta este polímero natural permiten dar mayor textura, volúmenes estos retienen el agua, espesan, gelifican, ligan y estabilizan los sistemas. (Naula, 2016).	Cuenta con un rendimiento de almidón del 72% en base seca.
Oreja de elefante o pata (*Alocasia Macrorrhiza)*	Se cultivan para el consumo de tallos subterráneo cormos los cuales acumulan carbohidratos en forma de almidón. (Arias, 2016).	Contenido de almidón del 77%, 10 % de grasa y altas concentraciones de vitamina A, C y minerales. (Arias, 2016).
Zanahoria blanca *(Arracacia xanthorrhiza)*	Su potencial es alto para ser utilizado en forma de harina, sémola o como almidón. (Mangui & Alberto, 2013).	Su composición química indica un contenido de almidón del 63,72% en materia seca. (Mangui & Alberto, 2013) y 30% en materia húmeda. (Almeida, 2017)

De las principales materias primas mencionadas en la tabla 1, el ñame presenta mayor contenido de almidón en materia seca con un porcentaje del 93 % con respecto a las otras materias primas seguido el almidón del maíz con un porcentaje del 90%, el arroz con un porcentaje de 88% respectivamente. Por tanto, debido al elevado contenido de almidón son una fuente importante para la obtención de etanol.

3.2 Descripción de las tecnologías para obtener etanol a partir de materias primas amiláceas

La tecnología de obtención de etanol a partir de las materias primas amiláceas en su composición requiere necesariamente de un proceso de hidrolisis misma que comprende una sucesión de tres etapas, las que se conocen por varios autores como gelatinización, licuefacción y sacarificación, para determinar los azucares y posteriormente fermentar dichos azucares para obtener etanol.

Gelatinización:

Se da en temperaturas de 50 y 70 °C, el almidón, insoluble en agua, adquiere con calor la capacidad de absorber agua. Esta situación da paso a que el gránulo de almidón aumente su volumen hasta provocar su rompimiento. Al ocurrir esto, las moléculas de amilosa y amilopectina son liberadas quedando disponibles a la acción de las enzimas. (Delagado, 2009)

La gelatinización es la aplicación de temperatura al almidón en un medio acuoso, debido a que los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, en esta etapa la amilosa se solubiliza y sucede una dispersión coloidal del almidón, con una fase continua rica en amilosa y una fase dispersa de gránulos de almidón ensanchados, enriquecidos con amilopectina. Morales & Quinatoa, (2020)

Licuefacción:

Al almidón se lo mezcla con agua de proceso y enzimas (alfa amilasa), el cual es calentado para dar paso a la licuefacción a 83ºC. Posteriormente se añaden componentes químicos (nutrientes y regulación de pH) y se esteriliza a 110ºC. (Anaya & Jiménez, 2014)

Sacarificación:

Se enfría la solución a 60ºC tras el agregado de otra enzima (gluco amilasa) que transforma las moléculas de almidón en azucares simples. (Anaya & Jiménez, 2014)

Existen investigaciones que permiten obtener etanol a partir de diferentes MP amiláceas, sin embargo, cada proceso puede variar ya que la composición de la materia prima que se utilice es distinta según se observa en la tabla 1.

Tabla 2. Obtención de etanol por hidrolisis y fermentación simultanea

Operaciones	Materias primas			
	Zanahoria blanca. Almeida (2020); Ponce, (2015); Guerrero (2018)	**Papa china Morales & Quinatoa, (2020) (Ancán, 2020)**	**Yuca (Guerrero, 2018) Esquivia, M et al (2014)**	**Maíz (Beltrán, s.f)**
Lavado	Agua potable o agua residual	Previo germinado (10 a 5 días) Lavado con agua destilada	Agua potable o agua residual.	Maceración del grano: remojo en agua con SO2 al 0,1 o 0.2% en tanques por 30-50 horas. A temperaturas de 49-54ºC Manteniendo pH cerca de 4
Pelado	De forma manual se realiza el retirado de cáscaras	Retirado de la cáscara de forma manual	Retirado de la cascara de forma manual	Na*
Triturado molienda	Reducción de sólidos a partículas pequeñas con ayuda de una batidora de inmersión	Picado en cortes de 8 mm Molido en discos de 8 y 3 mm	Reducción de sólidos a partículas pequeñas con ayuda de una batidora de inmersión	Molino de fricción para molienda gruesa.
Lavado y tamizado de la pulpa (Separación del almidón adherido)	Lavado con agua a 4° C aproximadamente	Licuado con agua en relación 1:3 La solución lechosa se tamiza a través de un paño de algodón	Lavado con agua a 4° C aproximadamente	Se separa del resto del grano con hidrociclón
Mezcla	Adición de agua en relación de 1:2	se adicionó más agua y se dejó reposar por 12h	Adición de agua en relación de 1:2	Agua a 83ºC
Decantación	NA*	A temperaturas de 4ºC durante 12h	Trasvasado a otro recipiente	Na*

Secado		Secado en estufa a 40ºC hasta obtener una humedad de 10%		Na*
Molienda fina	NA*	NA*		Molino de impacto para molienda fina
Hidrólisis (Gelatinización)	NA*	A aplicación de temperatura al almidón en un medio acuoso, a temperaturas de 54ºC.	NA*	
Hidrólisis (Licuefacción)	Con el calor el almidón absorbe agua y se hincha rompiéndose la pared celular (90-95°C). La enzima generalmente más usada es la alfa amilasa obtenida de bacterias termoresistentes como *Bacillus licheniformis o B.amyloliquefaciens*, actúa entre 67,5° - 72,5° C y pH de 5,7.	Se añade α amilasa y CaCl a temperaturas de 70ºC durante 4h y agitación de 200rpm	Adición de enzima alfa amilasa termoestable 150mL/ton temperaturas de 85ºC. PH de 6,3	Temperatura a 90ºC Adición de la enzima α-amilasa generalmente de *Bacillus licheniformis* PH 5,5
Hidrólisis (Sacarificación)	Se adiciona la enzima gluco amilasa. En una concentración de la enzima de 0.8 a 1.5 g/kg de sustrato, se establecen los siguientes parámetros: pH entre 4 y 6 y a una temperatura entre 50°C y 65°C en un	Ajuste de pH de 4 a 7 con una solución de HCl y Na(OH) A temperaturas de 40 a 80ºC Adición de la enzima amiloglucosidase durante 20 h	En temperaturas de 55ºC se adición de la enzima gluco amilasa pH4,5	Solución a 60ºC o 70ºC Adición de enzima glucosamilasa, Sacarificación y fermentación simultanea

	tiempo entre 90 y 120 minutos.	Agitación de 200rpm y posterior filtración		
Dilución	NA*	NA *	NA*	NA*
Adición de nutrientes	Nitrógeno y fósforo (urea y fosfato de amonio)		Fosfato de amonio Fosfato de potasio Sulfato de potasio.	NA*
Esterilización	NA*	NA*	NA*	Adición de nutrientes y posterior esterilización a 110ºC
Fermentación	Se baja la temperatura hasta 30ºC para colocar las levaduras *(Saccharomyces cerevisiae).* El mosto fue colocado en un recipiente de vidrio cerrado a 30ºC por dos días PH entre 4 a 6	Previa filtración, se adiciona levadura *Saccharomyces cerevisiae)* a temperaturas de 37ºC con azúcar, durante 72h. PH entre 4 a 6	Se baja la temperatura hasta 30ºC para colocar las levaduras *(Saccharomyces cerevisiae).* El mosto fue colocado en un recipiente de vidrio cerrado a 30ºC por dos días PH entre 4 a 6	Mosto a 35ºC Adición de levaduras *Saccharomyces cerevisiae.* Fermentación alcohólica por 2 días pH entre 3y 5
Filtración	Se utiliza una tela delgada y limpia de lino para retirar cualquier partícula grande que haya quedado.		Se utiliza una tela delgada y limpia de lino para retirar cualquier partícula grande que haya quedado.	El fermento pasa por centrifugación para separar la levadura y el resto tratar con ácido.
Destilación	Se destila en un Rotavapor Buchi (destilación con vacío) el cual permite destilaciones de una sola etapa. Temperatura y tiempo Número de platos de destilador	Por evaporación. A temperaturas mayores a 73ºC, pero menor a 100ºC.	Se destila en un Rotavapor Buchi (destilación con vacío) el cual permite destilaciones de una sola etapa.	Primera etapa: concentración de 50 a 70% Purificación: separación de impurezas (aldehídos y estrés) Rectificación: obtención de aceites de fusel alcoholes superiores y etanol.

	A temperaturas mayores a 73ºC, pero menor a 100ºC.		A temperaturas mayores a 73ºC, pero menor a 100ºC.	A temperaturas mayores a 73ºC, pero menor a 100ºC.
Etanol	Líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78 °C. La cantidad de etanol que se puede producir a partir de una materia prima es aproximadamente la mitad (en peso) de la cantidad de azúcar o almidón que contenga.	Contenido de alcohol (40º50º GL) mediante arrastre de vapor.	Concentraciones de etanol de 85 g/l que equivalen a rendimientos del 100%	A partir de una tonelada de maíz se obtiene 372,358 L de etanol.

Así como indica Aimaretti (2011) la cantidad que se obtiene de etanol es netamente proporcional a la cantidad de solidos solubles que fueron aportados por el mosto. En aquellas plantas superiores las semillas comúnmente almacenan almidón, proteínas y lípidos, por otro lado, las raíces de acumulación, rizomas y tubérculos normalmente depositan carbohidratos en forma de almidón.

El uso del sistema de hidrólisis enzimática y fermentación simultánea permite la unión de tres metodologías antes trabajadas independientemente, ésta da grandes ventajas con relación a los procesos lo que representa grandes ventajas con relación a los procesos convencionales de obtención de bioetanol, puesto que permiten obtener mayores rendimientos por unidad de grano, además de reducir gastos energéticos y de producción por unidad de etanol producido; por otro lado, disminuye la cantidad de unidades de operación requeridas durante el proceso.

En el proceso de obtención de etanol el método más usado para fragmentar los cereales es la molienda, pero en el caso de los tubérculos se requiere de una trituración inicial con el fin de reducir las partículas para una posterior molienda o rallado y lograr mejores rendimientos en las posteriores fases de la hidrolisis, pueden efectuarse de distintas maneras.

Hidrólisis

La harina obtenida en la fase de molienda se mezcla con agua y con enzimas (α- amilasas) dando lugar a una pasta húmeda y viscosa con un 20-40% en peso de sólidos. Las α-amilasas añadidas en esta operación podrán transformar una parte de las cadenas de almidón en dextrinas que son de longitud variable. Se suelen emplear α-amilasas de Bacillus licheniformis debido a su tolerancia a las altas temperaturas. Por consiguiente, se procede a realizar una cocción donde se somete la pasta húmeda premezclada a altas temperaturas (hasta 180ºC), con el fin de romper y solubilizar los gránulos de almidón. (Herguedas, García & Paniagua, 2012).

Hidrólisis Ácida

Cuando el almidón está en medio ácido y calor se romperá en cadenas más cortas y dextrinas. Esta ruptura de enlaces dependerá del tipo de ácido que se utilice, la concentración que contenga el mismo, temperatura y tiempo de reacción. Los compuestos más utilizados en los procesos de obtención de dextrinas son el ácido clorhídrico a 100 °C, nítrico y sulfúrico, obteniéndose como productos jarabes de glucosa, por otro lado, también se obtiene como productos no deseados el hidroximetilfurfural, el ácido levulónico y el ácido fórmico ya que da al jarabe un sabor amargo. Acán (2020)

Fermentación

Consiste en una reacción de oxidación-reducción interna equilibrada donde ciertos átomos se reducen mientras otros se oxidan bajo una energía producida por fosforilación. La ruta más denominada para el proceso de fermentación de azúcares es la glucólisis.

La fermentación para obtener el etanol se produce bajo la acción de levaduras, el tiempo invertido en esta etapa dependerá del método que se use en el proceso.

Los procesos de producción de etanol que hacen uso de la estrategia de proceso SSF (Sacarificación-Fermentación Simultánea), en su totalidad llevan presente perfiles de concentración de azúcares reductores muy similares.

Destilación

Aprovechando los puntos de ebullición y la volatilidad del exponente a extraer, los productos de la fermentación de los procesos anteriores se someten a destilación haciendo lo posible por evitar la pérdida del producto por evaporación, este se mide el volumen obtenido, la densidad y con la ayuda de un densímetro los grados alcohólicos. Acán (2020)

Mulet-Hing. (2013) señala que la destilación consiste en llevar a los componentes más volátiles de un líquido a una fase de vapor para ser recuperado posteriormente este vapor en

forma líquida mediante un proceso de condensación, con el objetivo de alcanzar el componente volátil de manera pura. Es decir, el alcohol obtenido de la fermentación se lleva a una temperatura mayor a 78ºCpero que no alcance los 100ºC, este se evapora y se separa del líquido original para posteriormente ser recondensado en un líquido con mayor fuerza alcohólica.

Se ha demostrado que es posible incrementar el rendimiento etílico de los mostos realizados mediante la hidrólisis enzimática, por otro lado, sería conveniente seguir investigando el tema para poder entender con mayor profundidad la influencia de cada uno de los factores que intervienen en el proceso de hidrólisis enzimática, ya que se debe tomar en cuenta que el exceso de azucares en la concentración también puede disminuir la eficiencia, de igual manera la presencia de pentosas o por otro lado el exceso de etanol producido. Se puede tomar en cuenta otras alternativas para aumentar el rendimiento etílico como: la implementación de modificaciones en el proceso de preparación del mosto, el utilizar biocatalizadores con capacidades particulares, implementación de hidrolisis acida o etapas de pretratamiento, así como también los procesos de sacarificación-fermentación simultáneas. (Aimaretti, Ybalo, Escorcia, & Codevilla, 2012)

4. CONCLUSIONES

Existen gran cantidad de tecnologías que nos permiten aprovechar de forma eficiente el contenido de almidón ya que comúnmente es utilizado como materias primas, cuando existe sobreproducción o a su vez su proceso de industrialización consiste en escoger la materia prima principal.

El control del crecimiento de las levaduras es de suma importancia para la producción eficiente de etanol. La actividad que cumplen las levaduras es muy dependiente de la temperatura del sistema de fermentación.

La hidrólisis completa del polímero de almidón necesita de una combinación de enzimas. Las amilasas son las enzimas termoestables que son ampliamente utilizadas en la industria del almidón

Se requiere un sistema de enfriamiento en los sistemas de fermentación ya que la eficiencia de la fermentación del *S. cerevisiae* a altas temperaturas es baja y la temperatura optima de reproducción y fermentación de la levadura es de 28° y 32°C, respectivamente.

REFERENCIAS

Acán Acán, Á. E. (2020*). Efecto de la temperatura y pH sobre el proceso industrial para la obtención de bioetanol por hidrólisis enzimática a partir de Colocasia esculenta (Papa China).* (Tesis de posgrado. Riobamba-Ecuador) Recuperado el 1 de febrero de 2022 de:

http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/14502/1/20T01361.PDF?Fbclid=iwar2h2blbqlogorreiayr_a8x-shau5i28b1jv_is8vp6fupawfa4kn8hllq

Aimaretti, N., Ybalo, C., Escorcia, M., & Codevilla, A. (2012). Revalorización de descartes agroindustriales para la obtención de bioetanol. *Invenio: Revista de investigación académica*, (28), 141-157. Recuperado el 17 de febrero de 2022, de: https://www.redalyc.org/pdf/877/87724141011.pdf

Almeida Romo, J. L. (2017). *Obtención de bioetanol a partir de hidrólisis enzimática y fermentación de Arracacha* (Bachelor's thesis, Quito: UCE). Recuperado el 25 de enero de 2022, de: http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/8158/1/T-UCE-0017-002-2017.pdf?Fbclid=iwar2qjel6d9-Jc5gvspyT5c7gGk9nhZCyG47GermRb1SLcBKhehQvhnMxUv4

Alonso-Gómez, L. Alexis, & Bello-Pérez, L. Arturo. (2018). *Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: retos y oportunidades*. Agrociencia, *52*(7), 967-990. Recuperado en 18 de febrero de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000700967&lng=es&tlng=es.

Anaya, J., & Jiménez, I. (2014). *Elementos de sostenibilidad para la producción y uso de etanol como combustible.* (Tesis de grado de ingeniería). Universidad Tecnológica de Bolívar. Recuperado el 30 de enero del 2022, de https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0067153.pdf

Arias Jara, M. A. (2016). *Obtención del almidón de la Alocacia Macrorrhiza y cuantificación del oxalato de calcio* (Bachelor's thesis, Quito: UCE). Recuperado el 24 de enero de 2022, de: http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7188/1/T-UCE-0017-0034-2016.pdf

Beltrán, N. (s.f). *Análisis teórico de los diferentes procesos para la obtención de etanol a partir de maíz*. Grupo de Investigación en Simulación para Ingeniería Química, 1-6. Recuperado el 26 de enero de 2022, de http://www.edutecne.utn.edu.ar/cytal_frvm/cytal_2006/Archivos/TF17%20Etanol%20a%20partir%20de%20maiz.pdf

Castaño, H., Cardona, M., Mejía, C., & Acosta, A. (31 de 08 de 2011). *Producción de etanol a partir de harina de yuca en un sistema de hidrólisis enzimática y fermentación simultánea*. Dyna, 78(169), 158-166. Recuperado el 14 de 01 de 2022, de https://www.redalyc.org/pdf/496/49622390018.pdf

Castaño, H. I., & Mejía, c. E. (2008). *Producción de etanol a partir de almidón de yuca utilizando la estrategia de proceso sacarificación-fermentación simultáneas*

(SSF). Vitae, 15(2), 251-258. Recuperado el 27 de enero de 2022, de scielo.org.co/pdf/vitae/v15n2/v15n2a07.pdf

Cobana, A. (2007). *Proceso de extracción de almidón de yuca por vía seca*. Revista Boliviana de Química, 24(1), 77-83. Recuperado el 24 de enero de 2022, de https://www.redalyc.org/pdf/4263/426339669014.pdf

CIP. (2015). *El camote y la nutrición*. Recuperado el 24 de enero de 2022 de cipotato.org: https://cipotato.org/es/programas-de-investigacion/camote/sweetpotato-nutrition/#:~:text=Las%20ra%C3%adces%20de%20camote%20tienen,de%20la%20conversi%C3%b3n%20del%20almid%C3%b3n.

Delgado, M. (2009). *Evaluación Técnico-Económica de la obtención de etanol a partir de la yuca M-THAI8(Manihot esculenta, crantz)* (Tesis de grado de Ingeniería). Universidad Autónoma de Occidente. Recuperado el 30 de enero del 2022, de https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/390/TID00303.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Esquivia Mercado, M. B., Castaño Peláez, H. I., Atehortua Garcés, L., Acosta Cárdenas, A., & Mejía Gómez, C. E. (2014). *Producción de etanol a partir de yuca en condiciones de alta concentración de sólidos (VHG)*. Revista Colombiana de Biotecnología, 16(1), 163-170. Recuperado el 22 de enero de 2022, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-34752014000100020

FAO. (2014). *Bioenergía y seguridad alimentaria evaluación rápida (befs ra) Manual de Usuario etanol y biodiesel*. Evaluación Rápida BEFS. Recuperado el 16 de enero de 2022, de https://www.fao.org/3/bp855s/bp855s.pdf

FAO. (2008). *La papa, nutrición y alimentación - Año Internacional de la Papa 2008*. Fao.Org. Recuperado el 23 de enero de 2022, de https://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/hojas.html

Gómez, A., & Pérez, B. (15 de 11 de 2018). *Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: retos y oportunidades*. Agro ciencia, 52(7), 967-990. Recuperado el 14 de 01 de 2022, de http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v52n7/2521-9766-agro-52-07-967.pdf

Herguedas, A. I., García, E. R., & Paniagua, P. P. (2012). *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*. Recuperado el 16 de enero de 2022, de http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf

Isique, M., & Sing, J. (2017). *Influencia de la hidrólisis química en las características fisicoquímicas y funcionales de los residuos industriales de papa, camote y yuca*.

Universidad Nacional del Santa, facultad de ingeniería agroindustrial (Tesis de grado de ingeniería). Recuperado el 22 de enero del 2022, de http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/3053/47038.pdf?Sequence=1&isallowed=y

Javier Espitia, J. G. (2016). *Propiedades Funcionales de Almidones de Ñame (Dioscorea bulbífera, Dioscorea trífida y Dioscorea esculenta).* Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, 39(1), 031-036. Recuperado el 24 de enero de 2022, de: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702016000100006&lng=es&tlng=es.

Mangui, C., & Alberto, C. (2013). *Elaboración de harina de zanahoria blanca para utilizar en productos de panificación y definir niveles de aceptabilidad (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).* (Tesis de grado de Licenciatura). Recuperado el 24 de enero de 2022, de: http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/9682/1/84T00264.pdf

Manzanillas Rojas, L. A. (2018). *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de féculas de tres variedades de camote (Ipomea batata) para aplicaciones alimentarias* (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería en Alimentos.). Recuperado el 24 de enero de 2022, de https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28375/1/AL%20680.pdf

Matthew J. Page, J. E. (septiembre de 2021). *Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas.* Revista española de cardiología, 74. Recuperado el 15 de enero de 2022, de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300893221002748

Medina, L. (2013). *Obtención de maltodextrinas por vía enzimática a partir de almidón de camote (Ipomoea batatas L.).* (Tesis para Master en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable), Instituto Politécnico Nacional, Michoacán-México. Recuperado el 03 de febrero del 2022, de: https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12388/Medina%20Garc%c3%ada%20Luis%20-%20B091334.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mulet-Hing. (2013). *Automatización de la destilación de alcohol de la UEB destilería de la ronera Santiago de Cuba*. Tecnología Química, 33(1), 1-9. Recuperado el 03 de febrero de 2022, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852013000100001&lng=es&tlng=es.

Miranda, B., & Molina, M. (2015). *Evaluación de factores que pueden influir en el proceso de sacarificación-fermentación simultáneas para la producción de etanol a partir*

de materiales amiláceos. Revista de la Universidad de Costa Rica, 25(1). Recuperado el 21 de enero de 2022, de https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/14665/pdf_40

Morales, C., & Quinatoa, A. (2020). *Evaluación de la producción de alcohol etílico a base de papa china (Colocasia esculenta), utilizando el método germinativo del tubérculo (Ingeniería).* Universidad estatal Amazónica. Recuperado el 20 de enero del 2022, de https://repositorio.uea.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/895/t.%20agroin.%20b.%20uea.%20%202132.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Naula Lema, M. M. (2016). *Elaboración y valoración nutricional de pan a base de harina de trigo (Triticum aestivum) y almidón de achira (Canna indica), fortificada con suero de leche* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.). Recuperado el 21 de enero de 2022, de http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/4954/1/56T00626%20UDCTFC.pdf

Peláez, H., Gómez, C., & Márquez, Ó. (2012). *Producción de etanol a partir de harina de yuca utilizando diferentes estrategias en modo continuo*. Producciôn+Limpia, 7(1), 1-13. Recuperado el 22 de enero del 2022 de http://www.scielo.org.co/

Puertas Zeta, M. G. (2018). *Efecto de la cinética de hidrólisis ácida de almidón de maíz (zea mays l.) en el rendimiento para la obtención de etanol*. (Tesis de grado de Ingeniería). Recuperado el 22 de enero de 2022, de https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1389/IND-PUE-ZET-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Quezada, L. (2019). *Propiedades térmicas y funcionales del almidón nativo de malanga (xanthosoma sagittifolium) y achira (canna edulis)* (Trabajo de titulación de Ingeniería). Universidad Técnica de Machala. Recuperado el 22 de enero del 2022, de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14106/1/T-2896_QUEZADA%20CORREA%20LADY%20MIREYA.pdf

Salcedo Mendoza, J., & Figueroa Flórez, J. y. (2017). *Métodos y técnicas de caracterización productos amiláceos II*. En Agroindustria de (págs. 1-102). caracterización: Universidad de Sucre, Colombia, 2017. Recuperado el 20 de enero de 2022, de https://www.researchgate.net/profile/Jairo-Salcedo/publication/321386088_Agroindustria_de_productos_amilaceos_II_Metodos_y_tecnicas_de_caracterizacion_Agroindustria_de_productos_amilaceos_II_Metodos_y_tecnicas_de_caracterizacion/links/5a2019b5a6fdcc2dc2ae

Solís, M., & Malavé, A. (2019). *Diseño del proceso de maceración con alternativas amiláceas para su uso en la industria de bebidas alcohólicas* (Proyecto de titulación de Ingeniería). Escuela superior politécnica del litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Recuperado el 22 de enero del 2022, de https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/133515/D-CD88754.pdf

Torres, M., & Pilamunga, C. (2015). *Elaboración y evaluación nutricional de un cupcake a base de harina de achira (Canna_edulis) fortificado con harina de garbanzo (Cicer arietinum l) y papaya* (Tesis de ingeniería). Escuela superior politécnica de chimborazo escuela de bioquímica y farmacia. Recuperado el 22 de enero del 2022, de http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/4024/1/56T00545%20UDCTFC.pdf

5. ANEXO

MARCO TEÓRICO:

Materias primas amiláceas

Son aquellas especies de cereales y tubérculos utilizadas para producir bioetanol a partir de la fermentación de los azúcares, pero mediante una hidrólisis previa de sus azúcares complejos (almidón) para convertirlos en azúcares más simples. (Herguedas, Herguedas, García, & Paniagua, 2012)el azúcar complejo presente en las materias primas amiláceas es el almidón que es un carbohidrato de reserva, el cual es sintetizado por las plantas, sirve como fuente de energía para los organismos vivos y es uno de los componentes más importantes en la gran variedad de materias primas agroindustriales como los cereales, donde el contenido de polisacáridos va de un 30 a 80 %. (Quinatoa & Morales, 2020)

Existen diferentes tipos de materias primas amiláceas como el maíz, trigo, sorgo y cebada, así como los tubérculos que consiste en yuca, papa, entre otros. En el mosto de estas materias primas se incluye una etapa previa de hidrólisis del almidón, que deje la glucosa disponible para el catalizador. (Aimaretti, Ybalo, Escorcia, & Codevilla, 2012)

Almidón

La obtención del etanol en cereales existe un proceso de molienda la cual tiene dos formas de proceder: molienda en seco o molienda en húmedo

En la molienda es seco los granos se limpian y se trituran mecánicamente hasta que son reducidos a pequeñas partículas dando lugar a una harina. Para esta operación existe una amplia variedad de equipos de molienda, aunque los más empleados son los molinos de martillo y los de rodillos. (Herguedas, García & Paniagua, 2012).

La molienda húmeda el grano es limpiado y "escaldado" en agua caliente (50ºC) durante 24-48 horas, ayudado por pequeñas concentraciones de dióxido de azufre y ácido láctico. Posteriormente, tienen lugar tres fases: la extracción del germen a través de un separador, separación de la parte fibrosa de la mezcla mediante molienda y cribado y separación del almidón de las proteínas mediante centrifugación. (Herguedas, García & Paniagua, 2012).

El almidón está compuesto por dos polímeros distintos de glucosa denominados amilosa y amilopectina

La amilosa es una molécula lineal que consta de hasta 5000 unidades de glucosa, su promedio en almidones varia de entre 20 a 25 %, esta molécula no es soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno y generar una estructura tridimensional helicoidal, donde cada vuelta de la hélice consta de 6 moléculas de glucosa. (Quintanoa & Morales, 2020)

La amilopectina es un polímero ramificado que consta de cientos de pequeñas cadenas lineales y laterales de unidades de glucosa que forman enlaces de α (1-4) y por consiguiente de estos enlaces se unen a los laterales los α (1-6) que dan lugar a una ramificación cada 12 unidades de glucosa. La molécula de amilopectina está constituida por 100000 moléculas de glucosa. (Quintanoa & Morales, 2020)

El almidón para ser convertido en etanol es degradado por procesos enzimáticos, las cadenas de amilosa y amilopectina presentes en el almidón se rompen haciendo posible la accesibilidad para que las enzimas amilasa y gluco amilasa actúen de tal manera que las amilasas degraden las cadenas de polisacáridos a oligosacáridos y monosacáridos y la gluco amilasa degraden la amilosa y la amilopectina dando paso al proceso de la fermentación y posterior obtención de etanol. (Quintanoa & Morales, 2020)

Biocombustibles (etanol)

Es un líquido combustible, volátil, incoloro, con un punto de ebullición a 78°C, este es el resultado de la fermentación producida por levaduras, que al alimentarse de los azúcares los transforman en alcohol etílico, gas carbónico, acompañado de la liberación de energía. Mediante el proceso de destilación se puede separar el alcohol del resto de componentes producidos en la fermentación, para ser usado en diferentes ramas de la industria como en la farmacéutica y alimentaria. (Morales & Quinatoa, 2020)

El etanol es un alcohol, que puede ser utilizado como combustible en los motores de encendido por chispa, ya sea puro o mezclado con la gasolina, tiene alrededor de dos tercios del contenido energético de la gasolina (sin importar la materia prima utilizada), pero tiene un grado significativamente alto de octanaje. (FAO, 2014)

Tecnología para la obtención de etanol

La tecnología de obtención de etanol en materias primas amiláceas por su contenido de almidón requiere necesariamente de un proceso de hidrolisis.

Para (Acán, 2020) la hidrolisis es un proceso químico por cual el almidón reacciona con el agua y se transforma en moléculas más pequeñas de polisacáridos como amilosa y amilopectina que son azúcares con menor peso molecular, puede llevarse a cabo por acción de enzimas o por soluciones acidas y calor, lo que facilita la ruptura de los enlaces glucosídicos.

Según (Miranda & Molina, 2015) la hidrólisis del almidón es el paso inicial para obtener los azúcares que se utilizan en la fermentación, el cual puede ser realizado por la acción de enzimas o en un medio ácido

La hidrólisis ácida provoca un rompimiento total del almidón, misma que se realiza mediante la acción de ácido clorhídrico, ácido sulfúrico y ácido nítrico, los más utilizados a través de temperaturas de 100ºC, sin embargo, presentan inconvenientes como es la

formación de productos no deseados como el ácido fórmico, levulónico e hidroximetilfurfural dándole un sabor amargo al jarabe de la glucosa. (Ancán, 2020)

En la hidrolisis enzimática intervienen enzimas amilasas y gluco amilasas las cuales tienen lugar de adición en las etapas de licuefacción y sacarificación respectivamente. Se dice que esta etapa llega a su fin cuando se obtiene glucosa, maltosa y dextrina. Para que haya una estabilidad de las enzimas y la acción de las mismas sea estable debe mantener un pH entre 4.5 a 6.9 (Quinatoa & Morales, 2020)

El pH es un parámetro fisicoquímico que determina si una sustancia acepta electrones es ácido y si cede electrones es básico. Este es un indicador primordial para establecer en qué condiciones generales se encuentra el producto debido a que este influye en múltiples acciones de alteraciones y de estabilidad y contribuye a la reproducción de microorganismos, incluso en la etapa de fermentación se debe existe un rango de acidez para que las levaduras puedan desarrollar su función. (Torres & Pilamunga, 2015)