

Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica



TESIS

DISEÑO DE UN PROCESO DE FERMENTACIÓN ALCHÓLICA

**Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Químico**

Presentado por:

Bach. Rafael Ríos, Kenny Yohany

Asesor:

Dr. Edgardo Octavio Carreño Cisneros

Huacho – 2020

Dr. Edgardo O. Carreño Cisneros
DOCENTE

Título de la tesis

DISEÑO DE UN PROCESO DE FERMENTACIÓN ALCHÓLICA

Dr. Edgardo Octavio Carreño Cisneros

Asesor

Miembros del jurado

Presidente

Secretario

Vocal

Dedicatoria

Este estudio lo dedico a mis padres, que son mi estímulo y la razón de ser, y gracias a ellos la razón de mi vida, de los que estaré infinitamente agradecido, los amo.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por permitir desarrollarme en un plan de vida, a mis profesores por siempre apoyarme y guiarme académicamente, a mi asesor por orientarme y lograr culminar de manera exitosa la presente tesis.

ÍNDICE

Título de la tesis	ii
Miembros del jurado	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Indice	vi
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO I	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	13
1.2 Formulación del problema	14
1.2.1 Problema general	14
1.2.2 Problemas específicos Seleccionar la materia prima más idónea	14
1.3 Objetivos de la investigación.....	14
1.3.1 Objetivo general.....	14
1.3.2 Objetivos específicos	15
1.4 Justificación de la investigación	15

1.5 Delimitación del estudio	15
1.6 Viabilidad de estudio	15
CAPÍTULO II	16
MARCO TEÓRICO.....	16
2.1 Antecedentes.....	16
2.1.1 Internacionales	16
2.1.2 Nacionales.....	18
2.2 Bases teóricas.....	21
2.3 Definiciones conceptuales.	26
2.4 Formulación de la hipótesis	26
2.4.1. Hipótesis general.....	26
2.4.2. Hipótesis específicas.....	26
CAPÍTULO III.....	27
<i>METODOLOGÍA</i>	27
3.1 Diseño metodológico	27
3.1.1. Tipo de investigación.....	27
3.1.2. Nivel de investigación.....	27
3.1.3. Enfoque.....	27
3.2. Población y muestra.....	27
3.3. Operacionalización de variables e indicadores.....	27

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	28
3.5. Técnicas para el procesamiento de la información	28
CAPÍTULO IV	29
RESULTADOS.....	29
4.1 Análisis de los resultados.....	29
Desarrollo. Modelo matemático para la fermentación.....	36
CAPÍTULO V	39
DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
5.1 Discusión de resultados.....	39
5.2 Conclusiones	40
5.3 Recomendaciones	40
CAPÍTULO VI.....	41
FUENTES DE INFORMACIÓN	41
6.1. Fuentes bibliográficas	41
6.2 Fuentes hemerográficas	42
6.3 Fuentes documentales	42
6.4 Fuentes electrónicas	44
ANEXO 01: Matriz de consistencia	45

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores y niveles	33
Tabla 2. Registro del experimento Factorial	34
Tabla 3. Reporte de resultados experimentales.	35

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso general de fermentación.	30
Figura 2. Proceso adecuación de mosto.	31
Figura 3. Cinética de la fermentación.	35

RESUMEN

El objetivo del estudio fue diseñar un proceso de fermentación para la producción de alcohol a partir de frutas de descarte. Para lo cual se ha revisado diferentes estudios para, en base a los fundamentos de balance de materia y energía establecer los parámetros adecuados en el proceso de fermentación alcohólica, para lo cual se ha tomado en cuenta como muestra los frutos maduros, el estudio es no experimental, transversal. Los muestran diferentes parámetros a tener en cuenta como: °Brix, pH, temperatura, tiempo de contacto, porcentaje de inóculo, etc. Así como de los formatos a considerar en el registro del proceso fermentativo. Concluyendo que es posible diseñar un proceso de fermentación para la producción de alcohol a partir de frutas de descarte, para lo cual se ha tenido en cuenta los parámetros como capacidad fermentativa considerando la levadura *Sacharomice Cerevisae*; el tiempo de inoculación, el proceso de fermentación, así como el proceso grado Brix, pH

Palabras Clave: Fermentación, *Sacharomice Cerevisae*. Inóculo.

ABSTRACT

The objective of the study was to design a fermentation process for the production of alcohol from discarded fruits. For which different studies have been reviewed to, based on the fundamentals of matter and energy balance, establish the appropriate parameters in the alcoholic fermentation process, for which the ripe fruits have been taken into account as a sample, the study is not experimental, transversal. They are shown by different parameters to take into account such as: ° Brix, pH, temperature, contact time, percentage of inoculum, etc. As well as the formats to be considered in the registration of the fermentation process. Concluding that it is possible to design a fermentation process for the production of alcohol from discarded fruits, for which the parameters such as fermentative capacity have been taken into account considering the yeast *Sacharomice Cerevisae*; the inoculation time, the fermentation process, as well as the Brix degree process, pH

Keywords: Fermentation, *Sacharomice Cerevisae*. Inoculum

INTRODUCCIÓN

Entre las funciones o características de las plantas por su naturaleza y el rol que cumple la clorofila permite (gracias a la energía solar) a los procesos orgánicos transformar los diferentes sustratos en uno orgánico y con ello la elaboración de azúcar, obteniéndose en los frutos maduros, los cuales gracias a los esfuerzos en recuperar estos productos y minimizar el impacto ambiental producto del deterioro del mismo permite la obtención de etanol, la cual tiene mucha importancia como combustible, constituyéndose una alternativa viable de fuente de energía de costo ambiental bajo.

El problema a resolver del presente trabajo de investigación como Ingenieros Químicos es darles un valor agregado a los frutos maduros o sobremaduros que están a punto de ser desechados, frutas que no son aptas para la exportación, porque no cumplen con los requisitos del mercado, por lo que, se plantea el uso de frutos maduros como materia prima para la obtención de alcohol obteniendo como procesos la fermentación. Para ello ha sido necesario diseñar un modelo de obtención de alcohol; así como de sus formatos para registro de datos obtenidos durante el proceso de fermentación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática.

Los procesos diseñados para la fermentación alcohólica permiten la transformación de un mosto (obtenidos de extractos y zumos de frutas, hortalizas, etc.) en alcohol por intervención de microorganismos de la especie *Saccharomyces cerevisiae* principalmente, como parte de la cinética y como vía metabólica de la fermentación, siendo las especies que contengan mayor cantidad de azúcar las más apropiadas para someterlas a los procesos de fermentación.

Actualmente el mercado global de fermentados viene tomando cada día más importancia por las divisas que se adquieren. Es así que los productos procedentes de las fermentaciones a partir productos o especies que contengan de azúcares aún conservan sus propiedades fundamentales como parte de la nutrición de la población. Por lo que cada región pretende aprovechar cada vez los productos de la zona.

En el Perú por los diferentes climas y diversidad ecológica que lo conforman existen productos con alto contenido de azúcares y elementos nutricionales, que conllevan a la obtención de alcohol de calidad y que marcarían la diferenciación con los de los diversos países. En ese sentido la Región Lima provincia por su ubicación estratégica de su geografía cuenta con diversidad de plantas, frutas y diversas especies con potencial contenido de azúcar y con alto contenido nutricional que servirían como complemento en la dieta alimenticia del ser humano pero que por su ubicación geográfica es difícil comercializarlos como tal.

Por ello, es necesario identificar estrategias de comercialización mediante la industrialización de los productos de la región, siendo importante la industrialización del mismo mediante procesos de fermentación a fin de aprovechar, conservar y generar impactos académicos y de investigación en aras de generar valor en estas especies que habitan en la zona, siendo necesario contar con el diseño de un proceso de fermentación alcohólica que optimice los procesos de fermentación en aprovechamiento de los diferentes mostos obtenidos por especies de la región.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo el diseño de un proceso de fermentación permitirá una eficiente producción de alcohol a partir de frutas de descarte?

1.2.2 Problemas específicos Seleccionar la materia prima más idónea

- ¿De qué manera la selección de la materia prima permitirá obtener una fermentación de calidad?
- ¿De qué manera la identificación de las variables presentes en el equipo fermentador permitirá lograr un proceso óptimo?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un proceso de fermentación para la producción de alcohol a partir de frutas de descarte.

1.3.2 Objetivos específicos

- Seleccionar la materia prima permitirá obtener una fermentación de calidad.
- Identificar los parámetros presentes en el equipo fermentador para lograr un proceso de obtención de alcohol óptimo.

1.4 Justificación de la investigación

La gran producción de etanol de uso industrial procede de los combustibles y sus derivados del petróleo, el presente estudio es considerado como una alternativa limpia, y se ha prestado actualmente mucha atención como alternativa al cuidado del medio ambiente, por lo que la producción de etanol procedente materias primas agrícolas ayudaría a ello. Por lo tanto, el desarrollo de un proceso de fermentación utilizando materias primas económicas es esencial para la producción de biocombustibles de etanol a escala comercial.

1.5 Delimitación del estudio

Delimitación espacial

El estudio se ha realizado en consideración de los frutales obtenidos en la Región Lima

Delimitación temporal

El estudio se ha llevado a cabo durante el periodo de noviembre de 2019 a enero de 2020

Delimitación social

La investigación abarca los desechos de la producción de frutas de los pequeños agricultores de la Región Lima

1.6 Viabilidad de estudio

El estudio es viable en cuanto se cuenta con materia prima en la Región Lima y con recursos que permiten desarrollar el estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Internacionales

Almeida y Betancourt (2015) realizaron una tesis titulada “Aislamiento e identificación de taxa de levaduras presentes en el fruto de tomate árbol (*Solanum betaceum*), que presenten capacidad fermentativa y resistencia alcohólica”, tuvo como objetivo establecer las taxa de levaduras presentes en el fruto de Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), que presenten capacidad fermentativa y resistencia alcohólica. El estudio fue experimental, para ello se identificó dos cepas *Saccharomyces cerevisiae* a partir de las 57 muestras de tomate de árbol maduro correspondiente al 6% de cepas de levaduras aisladas, y el restante 94% correspondiente a su mayoría a géneros *Rhodotorula*, *Candida* y *Cryptococcus*. Las Levaduras incubadas en cultivo YPD a diferentes grados de alcohol, evidencias al 100% de crecimiento las cepas expuestas a 6.0, 90% a 8.0GL, 10. y 60% de crecimiento con 10°GL de Etanol, todas a 96 horas de incubación. Seleccionando a la cepas *Saccharomices cerevisiae*, *Rhodotorula mucilaginosa*, *Candida albicans* y *Cryptococcus neoformas*.

Moyano y Quisingo (2015) en su investigación titulada “Realizar el diseño y construcción de un fermentador para producción de alcohol a partir de la remolacha” tuvo como objetivo el diseñar, construir un fermentador para la producción de alcohol a partir de la remolacha. El estudio fue experimental se usaron dos muestras de remolacha, el inoculado con levadura, considerando las variables de proceso y las condiciones de fermentación más óptimas. Para los cálculos de diseño se partió de la capacidad del fermentador, igual a 100 Los parámetros fueron establecidos en función a las condiciones ideales de desarrollo de la levadura *Saccharomyces Cerevisiae*. Finalmente se realizó la validación del equipo, obteniendo un 12% de rendimiento,

para lo cual se realizó un proceso dentro del fermentador y se comparó con los resultados obtenidos experimentalmente, estableciéndose que las condiciones de operación del equipo fueron superiores a las establecidas experimentalmente. Se concluye que el equipo permite una producción de alcohol con una concentración del 75% de volumen (GL).

Centeno (2018). En su tesis “Obtención de alcohol etílico mediante el proceso de fermentación y destilación del jugo de caña de maíz (*Zea mays*) para el empleo como base de relleno en bombonería”. El trabajo tuvo como objetivo obtener alcohol etílico mediante la fermentación y destilación del jugo de caña de maíz (*Zea Mays*) utilizando la variedad chazo para utilizarlo como relleno de bombonería, la investigación fue de tipo documental, experimental, hipotético-deductiva y cuantitativa. La fase experimental se realizó en el Laboratorio de Bromatología de la Escuela de Nutrición y en los talleres experimentales de la Escuela de Gastronomía de la ESPOCH. Se ejecutó tres pruebas para establecer el tiempo idóneo de fermentación, determinando que el tiempo ideal fue de 8 días de fermento con la adición de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), a continuación, el jugo se sometió a una destilación simple a una temperatura de 85°C. Mediante un análisis físico-químico realizado en SAQMIC de la ciudad de Riobamba se obtuvo un alcohol con una graduación de 32° GL; en cuanto a la acidez, esteroides, aldehídos y metanol los valores se encontraron dentro de la norma INEN 375-2, indicando que es apto para el consumo humano. Posterior el alcohol se utilizó en la elaboración de tres muestras de rellenos de bombones, a los cuales se realizó una catación con un total de 20 asistentes quienes fueron los docentes de la Escuela de Gastronomía, se logró como resultados que no existen diferencias entre las muestras en lo que corresponde a los parámetros de color y olor de los bombones y en cuanto al sabor y textura si se percibió diferencias entre las muestras debido a los ingredientes utilizados en especial al alcohol añadido. Así se concluye que si se puede obtener alcohol etílico a partir de la fermentación y posterior destilación del

jugo de caña bajo condiciones adecuadas y se recomienda aprovechar materia prima no utilizada como es la caña de maíz, debido a que actualmente se emplea a la alimentación animal.

2.1.2 Nacionales

Pacheco y Trujillo (2019). En su tesis Obtención de etanol por fermentación alcohólica a partir del exudado de la pulpa de cacao (*Theobroma cacao* L.). Tuvo como objetivo obtener etanol a partir del exudado de la pulpa de cacao utilizando fermentación alcohólica, el estudio fue experimental, para ello se aislaron una cepa del fruto de cacao asimismo una cepa de la uva para el fermentado de las muestras de exudado la cual se comparó con la fermentación del exudado que contenía la levadura comercial (*Saccharomyces cerevisiae*). Se desarrollaron cuatro fermentaciones utilizando una cepa del fruto de cacao al 1 %, una cepa del fruto de cacao al 5 %, una cepa de la uva al 1 % y una cepa de *Saccharomyces cerevisiae* al 1 %, y después estos fermentados se destilaron en las mismas condiciones. Finalmente, se realizó la determinación del contenido de etanol de las muestras destiladas mediante cromatografía de Gases con detector de ionización de llama, encontrándose que las muestras tratadas con cepa de uva y *Saccharomyces cerevisiae* presentan mayor contenido de etanol comparadas con las muestras tratadas con cepa aislada del fruto de cacao, la cual fue identificada como *Kloeckera* sp.

Ríos, P. (2019). En su estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de producción de alcohol carburante a partir de sorgo dulce en la Región Piura. El trabajo tiene por objetivo la determinación de la factibilidad para la instalación de una planta de Producción de Alcohol Carburante a partir del sorgo dulce en la región Piura. La investigación es de corte descriptiva

y el diseño de la misma es no experimental propositiva. Se obtuvieron como resultados que la capacidad instalada de la planta es de 200 m³/d de alcohol carburante, la tecnología a utilizar fue la de deshidratación por tamices moleculares, la evaluación económica resulto positiva pues se obtuvieron valores de \$ 396651.81 y 15.8% para el valor actual neto y para la tasa interna de retorno. Finalmente, ese concluye que la instalación de una planta de producción de alcohol carburante a partir de sorgo dulce en la región Piura es factible pues existe la tecnología necesaria, existe un nicho de mercado a cubrir en el extranjero y además es rentable.

Apaza (2015) en su estudio “Cinética de la extracción de alcohol de la planta macha macha (*peruvianum jancs*) por el método de fermentación”. Tuvo como objetivo Determinar la cinética de obtención de la planta macha macha (*peruvianum janc*), por el método de fermentación y cuál es el grado de alcohol extraído. Utilizó como sustrato entres diluciones con la levadura *sacharomyces cerevisae* utilizó el modelo de Michelis y Menten apropiado para datos experimentales. Como resultado encontró que el rendimiento fue de 97.88%, cuyo proceso tuvo las condiciones de 200g de macha macha a 16 °Brix, 30°C. Concluyendo que los parámetros de °Brix, temperatura y pH que tuvieron mayor influencia para obtener el mejor porcentaje de etanol a partir de la Macha Macha (*peruvianum jancs*).

Pari (2013) en su estudio Cinética de conversión de los carbohidratos presentes en la cáscara de plátano (*Musa Cavendishi*) para la obtención de etanol. Tuvo como objetivo determinar el modelo cinético para el proceso de fermentación de cáscara de plátano (*Musa Cavendishi*). Se desarrolló la cinética con el fermentado de cáscara de plátano para convertirlo en carbohidratos con la levadura *Sacharomyces Cerevisae* para obtener etanol, sus consiciones fueron temperaturas 20°C, 25°C y 0°C y pH de 4, 4,5 y 5 con 16 °Brix, mediante un diseño factorial 2^K. Obteniendo como resultado alcohol 13,1% a 25°C y pH 4 en 85 horas. Concluyendo que el

modelo cinético de Monod ajusta apropiadamente a los datos experimentales, proporcionando las constantes cinéticas de reacción para cada proceso de fermentación

Alpaca y Postigo (2015). En su tesis “Determinación de los parámetros a nivel de laboratorio de pH, temperatura, grado glucométrico, concentración de nutriente y cantidad de inóculo para optimizar el proceso de fermentación alcohólica del zumo de piña a fin de obtener una bebida alcohólica como vino de piña”. fue evaluar la fermentación alcohólica del Zumo de piña (Ananás Comosus), de la variedad Hawaiana, utilizando levadura *Saccharomyces Cerevisiae* activa seca (LAS), frente a diferentes condiciones de proceso como el grado de pH, grado Glucométrico, grado de temperatura, así como evaluar el efecto de trabajar el proceso fermentativo utilizando nutrientes y su grado de acción frente a concentraciones de Levadura diferentes. Todo a fin de encontrar las mejores condiciones de proceso de fermentación para este sustrato de piña y obtener vino de Piña. La metodología se basó en elaborar vino de piña a partir de zumo de piña a través de un proceso fermentativo anaeróbico, para lo cual se utilizó a manera de reactor botellas de vidrio de 750mL, a las cuales se le acopló una tapa con una trampa de aire. Para identificar y consignar el número de pruebas a realizarse se utilizó dos diseños experimentales, un diseño anidado cruzado y un diseño exponencial, realizando un total de 33 pruebas con tres repeticiones cada una. Las pruebas se realizaron en 4 etapas, en cada una de las cuales se fijó un objetivo, así en la primera y segunda etapa se logra determinar las condiciones de pH, O_BBrix y Temperatura bajo los que se optimiza el proceso fermentativo en estudio, y en la tercera y cuarta etapa se logra identificar la interrelación entre la concentración de nutriente y concentración de Levadura que cumplen con el mismo fin de optimizar el proceso. Los resultados fueron evaluados en materia al grado de alcohol, % de Azúcar no convertido, Acidez total y características organolépticas medidos en los vinos producidos en cada prueba. De las pruebas realizadas en la primera y segunda etapa se

identifica que a un pH de 3.5, 23°Brix y una temperatura de 26 oc se consigue optimizar el proceso de fermentación del zumo de piña, obteniendo vino de mejor grado alcohólico y con menor cantidad de azúcares reductores. Así mismo de las pruebas realizadas en la tercera y cuarta etapa final se identificó que el proceso fermentativo de zumo de piña trabajado bajo las condiciones de pH, o Brix y temperatura anteriormente señalado, se optimiza aún más si se le agrega en el proceso nutrientes (Zimovit) en una relación Nutriente-Levadura de 0.21-0.2 g/l. El vino con mejor aceptabilidad fue el elaborado en la prueba cuyo proceso fermentativo se llevó y controló bajo las condiciones señaladas en el párrafo anterior, así este vino presenta un grado alcohólico de 9.30% v/v, una acidez Total de 1.10% y un porcentaje de azúcar residual igual a 4.08%.

2.2 Bases teóricas

Según lo manifestado por Drakes Press (2013) con respecto a la fermentación: “Resulta práctico interpretar este proceso como un ecosistema, con varios organismos distintos que hacen posible sobrevivir”.

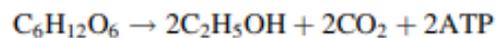
En ese sentido Vásquez y Dacosta (2007, pág. 252) manifiestan que la fermentación alcohólica es considerada una bioreacción que tiene como finalidad romper los enlaces de los azúcares en alcohol y dióxido de carbono, representándose en la ecuación:



Siendo los causantes de este proceso de degradación las levaduras, como la *Saccharomyces cerevisiae*, especie más usada. Hay que considerar de manera excepcional que existen estudios en la que muestran que existen estudios para producir alcohol con otros microorganismos (hongos y bacterias), entre las que destacan la *Zymomonas mobilis*, de uso industrial reducido.

Podemos definir la Fermentación Alcohólica como “el proceso bioquímico por el cual las levaduras transforman los azúcares del mosto en etanol y CO₂. Para que la F.A. tenga lugar, el mosto ha de hallarse en condiciones de limitación de oxígeno” (Mesas, 1999, pág. 177).

La fermentación alcohólica, es definido como un proceso anaeróbico (ausencia de oxígeno) producto del metabolismo realizado por las levaduras y algunas clases de bacterias del género *Saccharomyces cerevisiae*, principalmente, donde el sustrato celular del microorganismo; mono y di sacáridos en su mayoría, transforman la glucosa en alcohol etílico y dióxido de carbono. Donde los enlaces de energía se sintetizan en ATP durante el proceso de glucólisis en ausencia de oxígeno (Villadsen, Nielsen, y Lidén, 2011, pp. 22-29)



El proceso de fermentación se puede considerar básicamente un ejemplo de metabolismo heterotrófico que requiere un sustrato orgánico y un aceptor de electrones, que produce productos orgánicos por disimilación anaeróbica de glucosa o algún otro carbohidrato. En la fermentación, el piruvato producido en la glucólisis no continúa a través de la oxidación y el ciclo del ácido cítrico y la cadena de transporte de electrones se interrumpe en la fermentación. Como la cadena de transporte de electrones no está activa, el NADH producido durante la glucólisis no se convierte en NAD⁺. El propósito de las reacciones adicionales en la fermentación, entonces, es regenerar el portador de electrones NAD⁺ a partir del NADH producido en la glucólisis. Las reacciones adicionales logran esto al permitir que NADH deje caer sus electrones con una molécula orgánica (como el piruvato, el producto final de la glucólisis). Este descenso permite que la glucólisis continúe funcionando al garantizar un suministro constante de NAD⁺. La descomposición

enzimática de la glucosa a través de las reacciones de deshidrogenación produce energía en forma de ATP. Los sustratos orgánicos se oxidan por completo por las bacterias, pero producen suficiente energía para el crecimiento microbiano. La glucosa es la hexosa más común utilizada para estudiar las reacciones de fermentación. Por lo que se puede definir que las fermentaciones ocurren cuando los microorganismos consumen sustrato orgánico susceptible como parte de sus propios procesos metabólicos. (Brar, Das, Sarma, y Wiley, 2019, pp. 12-13).

En ese sentido Brar, et al. (2019) manifiesta en el proceso de fermentación otro rasgo favorable de los microbios es su versatilidad metabólica para usar diferentes fuentes de energía y usar diferentes tipos de aceptores de electrones terminales. Se produce una variedad de productos alimenticios diversos debido a la capacidad del organismo de utilizar diferentes sustratos para obtener energía. Cuando los microorganismos fermentan los componentes de los alimentos, obtienen energía en el proceso y aumentan en número. La producción de alcohol por levadura a partir de malta o pulpa de fruta se ha llevado a cabo a gran escala desde las primeras civilizaciones humanas registradas, lo que lo convierte en el primer proceso "industrial" para la producción de un metabolito microbiano. Por lo tanto, los microbiólogos industriales usan el término "fermentación" para describir cualquier proceso para la producción del producto por el cultivo en masa de un microorganismo. Alimentos tan diversos como el yogur, las salchichas duras y el chucrut son el resultado de la fermentación. Algunos de los microbios importantes utilizados en la fermentación se incluyen bacterias, levaduras, hongos, etc. Los organismos fermentativos convierten en gran medida los carbohidratos en alcoholes, con ácidos y CO₂ como subproductos. Estos subproductos generalmente no afectan negativamente las propiedades organolépticas del producto; más bien con suficiente acumulación, inhiben el

crecimiento de organismos lipolíticos y proteolíticos que son esencialmente organismos que deterioran los alimentos. (pp.13-14).

Factores que influyen en el proceso de fermentación.

Gonzales (2011) indica que para producir alcohol la materia prima a elegir debe ser dulce, con una acidez adecuada que permita el crecimiento y reproducción de levadura. El crecimiento de microorganismo de uso industrial se da entre la interacción celular de la levadura y las condiciones de las variables física y química que intervienen del biorreactor (Fiechter, 1984).

Por otro lado, (Navarre, 1994), señala que existen diversos factores físicos y químicos a considerar en la fermentación alcohólica, ya sea en la adecuación de la levadura o durante el proceso fermentativo; en ese sentido Coronel (2009), indica que los factores que intervienen en el proceso fermentativo son: Temperatura, pH, ácidos orgánicos, Grado alcohólico, aireación, solidos solubles, nutrientes, las levaduras.

a) Temperatura.

En su mayoría los microorganismos de uso industrial requieren para su crecimiento temperaturas que oscilan entre 20 a 45 °C, son mesófilos, cuando se supera el límite superior se una caída de la velocidad de crecimiento; así que el óptimo de uso para estos microorganismos está entre 30-45 °C, rango en el cual la velocidad de crecimiento se mantiene prácticamente constante (Ribéreau, Dubourdieu, Donèche, & Lonvaud, 2006), cuando la temperatura se incrementa en torno a los 45°C las levaduras mueren y el proceso de fermentación transcurre con mayor velocidad pero los productos son menos puros, se considera una temperatura de 30°C como la óptima (Navarre, 1994), la temperatura ideal

para el proceso de fermentación, adecuación y reproducción de levaduras oscila entre 22 a 27°C, Madrid (1991).

b) pH

La acidez del mosto es un factor muy importante en el proceso de fermentación, con ello se controla la proliferación y contaminación bacteriana, así como el crecimiento óptimo de levaduras (*Sacharomyces cerevisiae*), el control de la velocidad y rendimiento de alcohol, se estima que las condiciones óptimas oscilan entre (Carpenter, 1979). Según Gonzales R. (1978). En ese sentido Acosta (2012), manifiesta que para garantizar la calidad del proceso de fermentación en las diferentes fases del ciclo de vida de las levaduras es necesario mantener la acidez.

c. Concentración de azúcares.

La cantidad de grados Brix determinan las fases del ciclo de vida celular de las levaduras: multiplicación celular (crecimiento exponencial), fase estacionaria y la fase de muerte. La concentración de azúcares entre 10 °Brix a 18 °Brix es importante para la multiplicación inicial de la levadura, de lo contrario se inhibe el crecimiento de las levaduras Betancourt, (Betancourt R. , 2001) Fajardo y Sarmiento (2007)., aunque se sugiere un contenido de 18 a 20^abrix.

2.3 Definiciones conceptuales.

Cinética Química. - Rapidez o velocidad de la reacción química y de sus distintos parámetros que ocurren en ella.

Levaduras. - Son microorganismos unicelulares que se reproducen por gemación o por esporas algunas especies utilizados en la industria de fermentación.

Fermentación. - Es la transformación o cambio químico en las sustancias orgánicas producidas por la acción otras sustancias químicas.

El °Brix o grados Balling . - Escala del hidrómetro utilizada en la industria azucarera. Para medir porcentaje de azúcar en un mosto. Cada °Brix representa un gramo de sacarosa por cada 100 gr de líquido.

2.4 Formulación de la hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El diseño de un proceso de fermentación permitirá una eficiente producción de alcohol a partir de frutas de descarte.

2.4.2. Hipótesis específicas

- La selección de la materia prima permitirá obtener una fermentación de calidad.
- La identificación de los parámetros requeridos en el equipo fermentador permite lograr un proceso de obtención de alcohol óptimo.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

3.1.1. Tipo de investigación.

La investigación es de tipo básica, se pretende que con los fundamentos teóricos se estructure un modelo de proceso de fermentación alcohólica.

3.1.2. Nivel de investigación

La investigación tiene un nivel explicativo

3.1.3. Enfoque.

Cuantitativo y cualitativo

3.2. Población y muestra.

No aplica. Por la naturaleza del estudio se hizo necesario establecer el desarrollo del mismo, dentro de los modelos establecidos por la bibliografía existente en diferentes estudios, que contenga las especificaciones necesarias para el cumplimiento de los objetivos establecidos y establecer las correctas conclusiones en función a las características establecidas en el estudio.

3.3. Operacionalización de variables e indicadores.

Variable	Dimensión	indicador
Proceso de fermentación	Selección de materia prima.	- Lavado - Prensado - Sustrato
	Parámetros de fermentación.	- Mosto °Brix - Temperatura - pH
Alcohol	Alcohol	- Grado alcohólico.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas aplicadas en el presente estudio han sido:

a) Técnicas de recopilación de información.

Representadas por las herramientas, procedimientos e instrumentos aplicados dentro de la investigación para la obtención de información necesaria para el cumplimiento de los objetivos. Las técnicas de recopilación de datos utilizadas fueron:

Observación directa

Recopilación bibliográfica

Diarios de campo

Recolección de datos

Análisis de datos

3.5. Técnicas para el procesamiento de la información

El diseño del proceso se ha tenido en cuenta los estudios realizados al respecto y a los diferentes modelos ya establecidos. "por lo que se ha realizado un análisis de cada proceso diseñado.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados

DISEÑO DEL PROCESO

I.- Acondicionamiento de Materiales y equipos.

1.- Del Sustrato.

- Seleccionar el sustrato a fermentar teniendo en consideración que este no debe estar contaminado con otras levaduras o bacterias.

- Levadura.

2.- Reactivos:

- Solución de Ácido Cítrico 0.1 N • Acido Tartárico • Carbonato Cálcico • Metabisulfito de sodio/Bisulfito de sodio • Ácido Cítrico

3.- Equipos.

II.- Proceso general de Fermentación.

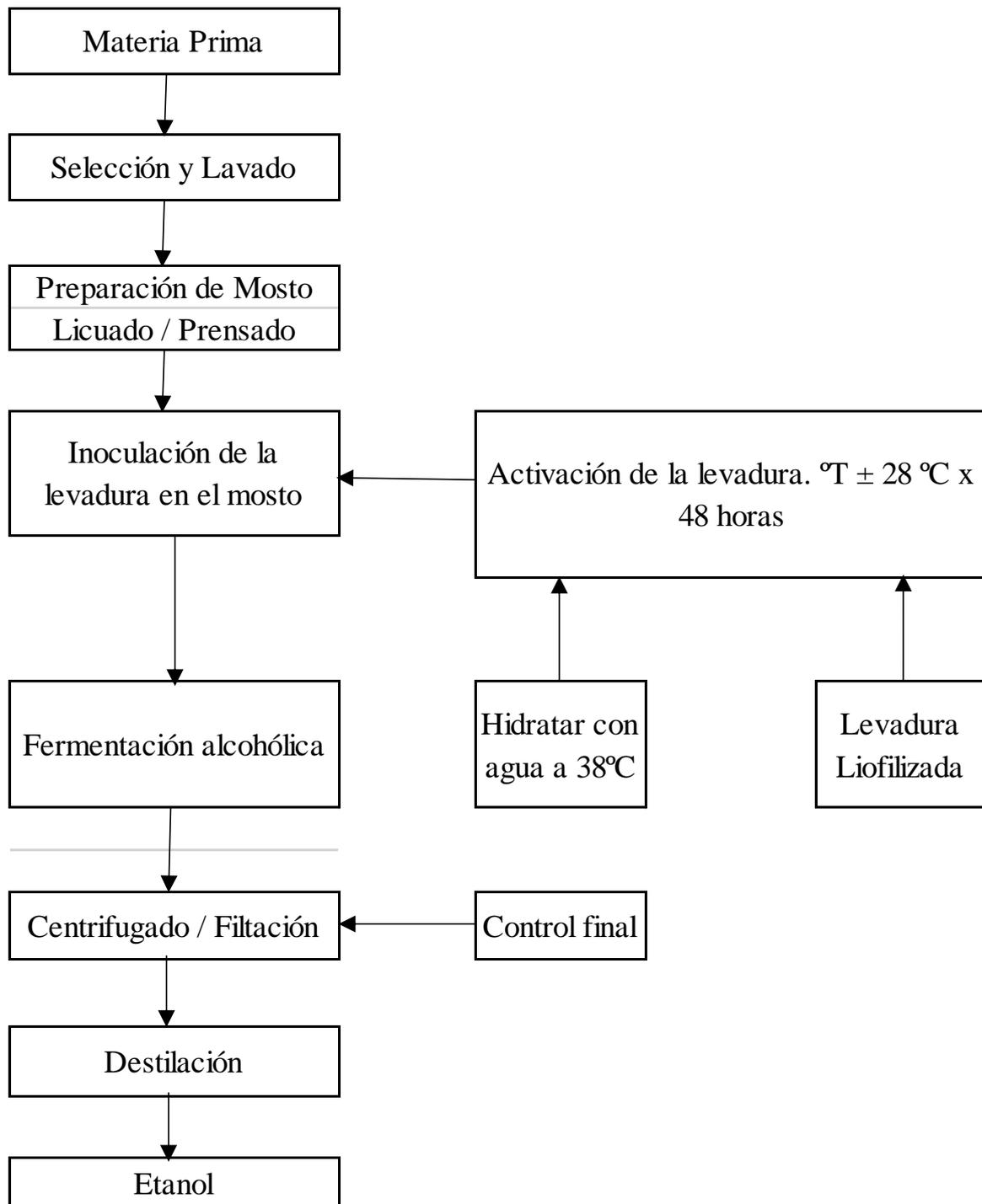


Figura 1. Proceso general de fermentación.

Descripción de los procesos.

II.- SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

a) Materia prima.

Para el logro de la obtención de etanol es necesario considerar tres (03) fuentes de materias primas:

- Ricas en sacarosa y glucosa: Caña de azúcar, plátanos, melaza, frutas y el sorgo
- Ricas en hidratos de carbono: cereales, tubérculos.
- Ricas en celulosa

La materia prima usada en la biomasa, se tendrá en cuenta principalmente las diversas frutas que abundan en la región las que por motivos de deficiencias en los canales de distribución son vulnerables.

Balance de materia

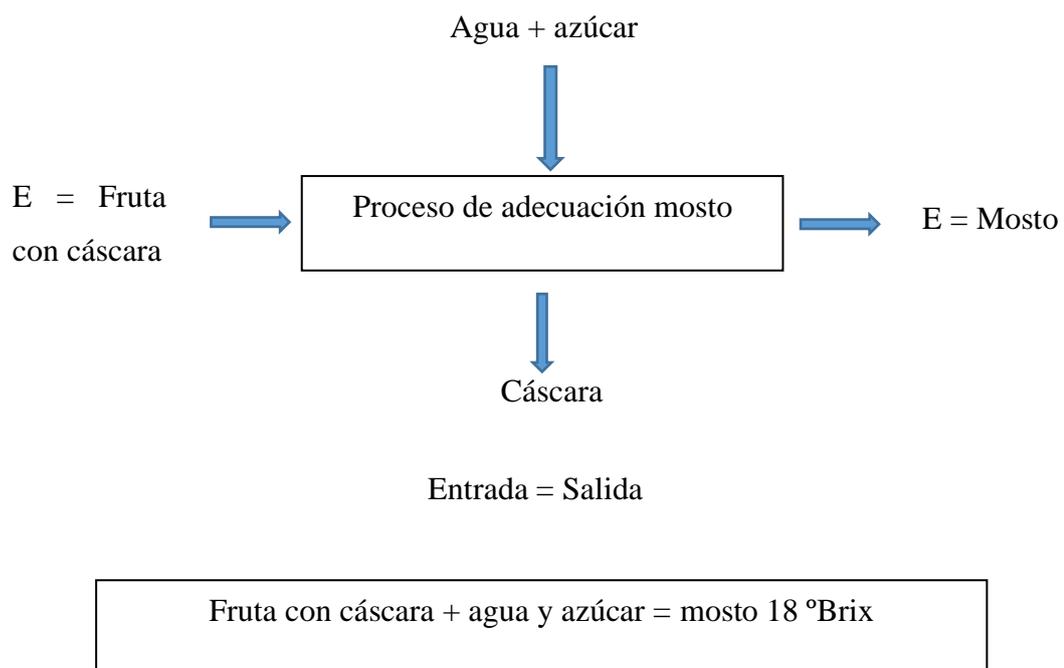


Figura 2. Proceso adecuación de mosto.

b) Selección y lavado.

Es necesario determinar las diferencias significativas en las diferentes unidades de frutas, considerando su grado de madurez, estado de la fruta (no deterioradas), para lo cual es necesario determinar en ellas sus grados Brix. Descartándose aquellas que presentan deterioros o en vías de putrefacción.

Posteriormente se lava con agua clorada (70 mg/L) a una temperatura ambiental, previamente se realiza el pesaje con y sin cáscara.

PROCESO DE FERMENTACIÓN.

En esta fase se deben considerar análisis secuenciales donde se analicen los parámetros que influencia las condiciones óptimas para la fermentación

c) Preparación de mosto. Licuado – Pensado.

El mosto preparado para la selección del alcohol debe realizarse los siguientes análisis: acidez titulable, sólidos solubles, densidad del jugo (g/cm³). De ser necesario corregir el contenido de azúcar para iniciar la fermentación. Establecer el grado Brix a 18° del mosto.



Fruta con cáscara + agua y azúcar = mosto 18 °Brix

d) Inoculación. Activación de la levadura.

Para preparación de la dosis de levadura seca se debe preparar de la siguiente manera:

- Considerar un 0.5% del peso total del mosto y agregarle 5.1 g de levadura. Agitar y dejar reposar 2 horas. Activada la levadura inocular al fermentador.

e) Fermentación alcohólica.

La fermentación debe ser anaerobia, debiéndose considerar la hermeticidad de los reactores (fermentadores) para impedir la contaminación aeróbica.

Observar el inicio de la fermentación. Debiéndose establecer un diseño factorial ($N=2^k$, donde K = número de variables o factores como pH y Temperatura; N = Número total de experimentos);

Tabla 1.

Factores y niveles

Factores	Niveles	
	Mínimos	Máximos
A = pH		
B = Temperatura		

FUENTE: Pari (2019) . Puno

Tabla 2.

Registro del experimento Factorial

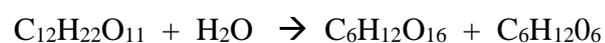
Nº de pruebas	pH	Temperatura	Rendimiento
P1			
P2			
P ₃			
. p _{n-1} (*)			
p _n (*)			

FUENTE: Pari (2019) . Puno

(*) = puntos centrales y evolución del proceso fermentativo.

Realizar los análisis respectivos grados brix, alcohol, temperatura (°C), pH,

Durante el proceso de fermentación se llevan a cabo las siguientes reacciones:



SACAROSA AGUA GLUCOSA FRUCTUOSA



Por lo que, según se observa de 1 mol de glucosa produce 2 moles de etanol y 2 moles de CO₂ (Burgeois, 1995).

Cinética de fermentación.

Modelo de monod

$$\mu = \mu_{max} \frac{S}{K_s + S}$$

μ = velocidad específica de crecimiento h^{-1}

μ_{max} = velocidad máxima de crecimiento h^{-1}

K_s = constante de saturación g/L

S = Concentración de sustrato limitante g/L.

Pendiente K_s/μ_{max} se obtiene de la siguiente manera:

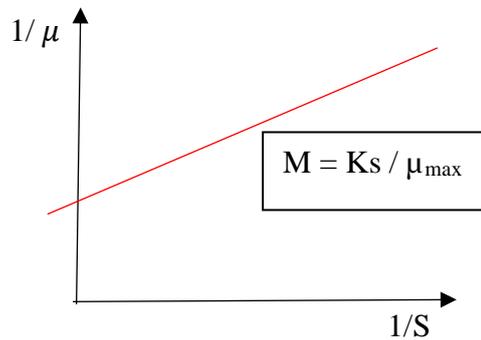


Figura 3. Cinética de la fermentación

Tabla 3.

Reporte de resultados experimentales.

t (horas)	S (°Brix)	ds/dt	μ	1 / S	1 / μ

Fuente: Pari Pacora, Edith (2013). Cinética de conversión de los carbohidratos presentes en la cáscara de plátano (Musa Cavendish) para la obtención de etanol Tesis de Pregrado. Universidad Nacional del Altiplano-Puno.

Desarrollo. Modelo matemático para la fermentación

Para el desarrollo del modelo matemático de fermentación se empleó el desarrollado por Gee y Ramírez (1988, págs. 224, 225), el cual considera a la temperatura constante. En este modelo asume como medio adecuado para la fermentación tres (03) azúcares, maltosa, glucosa y maltotriosa, las que se calculan mediante las siguientes ecuaciones diferenciales:

Glucosa:

$$\frac{dG}{dt} = -\mu_1(G)X \dots\dots\dots (1)$$

Maltosa:

$$\frac{dM}{dt} = -\mu_2(M, G)X \dots\dots\dots (2)$$

Maltotriosa:

$$\frac{dN}{dt} = -\mu_3(N, M, G)X \dots\dots\dots (3)$$

Donde

$$\mu_1(G) = \frac{V_g G}{K_g + G}$$

$$\mu_2(M, G) = \frac{V_m M}{K_m + M} * \frac{K'_g}{K'_g + G}$$

$$\mu_3(N, M, G) = \frac{V_m M}{K_m + M} * \frac{K'_g}{K'_g + G} * \frac{K'_m}{K'_m + M}$$

Donde:

G , (mol m^{-3}) es la concentración de glucosa,

M , (mol m^{-3}) es la concentración de maltosa,

N , (mol m^{-3}) es la concentración de maltotriosa,

X , (mol m^{-3}) es la concentración de biomasa,

μ_i (h^{-1}), es la tasa específica de absorción de azúcar,

V_i = velocidad máxima de reacción del azúcar ($i = G, M, \text{ or } N$), h^{-1}

K_i (mol m^{-3}) es la constante de Michaelis para el azúcar ($i = G, M, \text{ o } N$), y

K'_i es la constante de inhibición para el azúcar ($i = G \text{ o } M$).

Las tasas de producción de biomasa y etanol se relacionan proporcionalmente con la absorción de los azúcares individuales por coeficientes de rendimiento constante. Las expresiones resultantes se integran directamente para dar las siguientes ecuaciones algebraicas para la concentración de etanol y biomasa (se debe tener en cuenta que, $E(t_0) = 0$):

$$X(t) = X(t_0) + R_{XG}[G(t_0) - G(t)] + R_{XM}[M(t_0) - M(t)] + R_{XN}[N(t_0) - N(t)]$$

$$E(t) = R_{EG}[G(t_0) - G(t)] + R_{EM}[M(t_0) - M(t)] + R_{EN}[N(t_0) - N(t)]$$

Donde:

E (mol m^{-3}) es la concentración de etanol,

R_{xi} , rendimiento estequiométrico de la cantidad de biomasa por mol de azúcar empleado en la reacción ($i = G, M, \text{ o } N$) y

R_{Ei} , rendimiento estequiométrico de etanol por mol de azúcar reaccionado

$i = G, M, \text{ o } N$ se asumen como constantes.

f) Centrifugado/ filtración – Control final.

Concluida o interrumpida la fermentación alcohólica se procede a retirar los sólidos; dejar reposar el filtrado por un tiempo de 24 horas para que este pueda decantar y posteriormente pasar al proceso de destilación.

g) Destilación.

Después de la fermentación y obtenido el alcohol este se separa de otros componentes o subproductos obtenidos.

h) Etanol.

El cálculo del % de eficiencia de producción de Alcohol se tiene en cuenta el siguiente procedimiento

- Dato: °Brix

- % Alcohol Teórico.

$$\blacksquare \text{ \% Alcohol Etílico} = \text{°Brix iniciales} * \text{FRendimiento}$$

% Eficiencia

$$\text{\% Eficiencia} = \frac{R.Experimental}{R.Teórico} * 100$$

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Discusión de resultados

Según el Diseño del proceso de fermentación alcohólica propuesto, encontramos que los parámetros propuestos son factibles, y coincide técnicamente con lo que manifiesta Alpaca y Postigo. (2015), así mismo la producción de etanol ha sido posible gracias a la evaluación de la capacidad fermentativa, coincidente con el estudio Moyano y Quisingo (2015) de su implementación viable, puesto que técnicamente existen los balances de materia y energía y también se tiene la disponibilidad de la misma, además de los indicadores estequiométricos, tal como lo manifiesta Centeno (2018) quien concluye en su estudio que es posible obtener alcohol etílico a partir de la fermentación y posterior destilación del mosto..

5.2 Conclusiones

- Es posible diseñar un proceso de fermentación para la producción de alcohol a partir de frutas de descarte, para lo cual se ha tenido en cuenta los parámetros como capacidad fermentativa considerando la levadura *Sacharomice Cerevisae*; el tiempo de inoculación, el proceso de fermentación, así como el proceso grado Brix, pH.
- La materia prima debe seleccionarse considerando la calidad de la misma, tiempo de madurez, grado Brix.
- Los parámetros encontrados en el proceso de fermentación tenemos pH, calidad y cantidad de inóculo, acidez, concentración de nutrientes.

5.3 Recomendaciones

- Implementar las condiciones adecuadas de fermentación con diferentes jugos de frutas previamente caracterizado y realizar un estudio experimental para determinar los parámetros óptimos por cada mosto, considerando el esquema propuesto.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS DE INFORMACIÓN

6.1. Fuentes bibliográficas

Brar, S. K., Das, R. K., Sarma, S. J., & Wiley, J. (2019). *Microbial Sensing in Fermentation*. John Wiley & Sons Limited.

Betancourt, R. (2001). *Guía de laboratorio de operaciones unitarias III*. Manizales-Colombia: UNM.

Carpenter, P. (1979). *Microbiología*. México: Interamericana.

Drakes, P. (2013). *Fermentación para principiantes: Guía paso a paso sobre la fermentación y los alimentos probióticos*. Madrid, España: EDAF, S.L.U

Fiechter, A. (1984). Physical and chemical Parameters of Microbial Growth. *Advances in Biochemical Engineering*, 30, 7-60.

González, M. (2011). *Elaboración artesanal de vino de frutas* (1era. ed.). Carolina del Norte. Estados Unidos: Morrisville, USA.

Ribéreau, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., & Lonvaud, A. (2006). *Handbook of enology: The microbiology of wine and vinifications*. John Wiley & Sons

Villadsen, J., Nielsen, J., & Lidén, G. (2011). *Bioreaction engineering principles* (Thir Edition ed.). New York: Springer.

6.2 Fuentes hemerográficas

Madrid, A. (1991). Sistemas de control y mejora de la fermentación en la producción de vinos.

Revista de alimentación, equipos y tecnología, 10(2), 101-116.

Mesas, J. y. (1999). El papel de los microorganismos en la elaboración del vino. *Ciencia*

tecnológica Alimentaria, 2(4), 174-183.

Gonzales, R. (1978). Microbiología de las bebidas. *Pueblos y educación*.

Navarre, C. (1994). *La enología*. Universidad de Rioja. París: Lavoisier.

6.3 Fuentes documentales

Acosta, R. C. (2012). *Evaluación de la fermentación alcohólica para la producción de*

Hidromiel. Bogotá, Colombia.: Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia.

Apaza, L. (2015). *Cinética de la extracción de alcohol de la planta macha macha (peruvianum*

jancs) por el método de fermentación. Tesis para optar el Título de Ingeniero químico.

Puno-Perú: Universidad Nacional del Altiplano

Betancourt, & Almeida. (2015). *Aislamiento e identificación de taxa de levaduras presentes en*

el fruto de tomate árbol (Solanum betaceum), que presenten capacidad fermentativa y resistencia alcohólica. Tesis para la obtención del Título de Ingeniero en Biot. Quito-

Ecuador.: Tesis para la obtención del Título de Ingeniero en Biotecnología de los recursos naturales. Universidad Politécnica Salesiana.

Centeno Satán, M. (2018). *Obtención de alcohol etílico mediante el proceso de fermentación*

y destilación del jugo de caña de azúcar (Zea mays) para el empleo como base de

- relleno en bombonería*. Riobamba-Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. doi:<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11755>
- Fajardo, C., & Sarmiento, F. (2007). *Fajardo C. y Sarmiento F. (2007). Estudio de la Evaluación de Melaza de Caña como Sustrato para la Producción de Sacharomyces cerevisiae*. Bogotá: Tesis. Pontificia Universidad Javeriana.
- Moyano, A., & Quisingo, O. (2015). *Realizar el diseño y construcción de un fermentador para producción de alcohol a partir de la remolacha. Tesis para optar el Título de Ingeniero Químico. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Chimborazo- Ecuador*
- Pacheco Huachaca, N., & Trujillo Dominguez, J. (s.f.). *Pacheco y Trujillo (2019). Obtención de etanol por fermentación alcohólica a partir del exudado de la pulpa de cacao (Theobroma cacao L.)*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.
- Pari Pancca, E. (2013). *Cinética de conversión de los carbohidratos presentes en la cáscara de plátano (Musa Cavendishi) para la obtención de etanol*. Puno-Perú: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2879>
- Rios Mena, P. (2019). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de producción de alcohol carburante a partir del sorgo dulce Región Piura*. Universidad Señor de Sipán. Pimentel - Perú: Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Industrial. Obtenido de <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/6056>
- Vázquez, H. y. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 8(4), 249-259. Recuperado el 05 de Enero de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432007000400004&lng=es&tlng=es

6.4 Fuentes electrónicas

Coronel, M. (2009). *Factores que influyen el proceso fermentativo*. Recuperado el 12 de

Noviembre de 2019, de <http://www.edu.ec/fci/coronel.pdf>.

Gee, D. A., & Ramírez, W. F. (1988). Optimal temperature control for batch beer fermentation.

Biotechnology and Bioengineering, 31(3), 224-234. doi:doi:10.1002/bit.260310308

ANEXO 01: Matriz de consistencia

Título: DISEÑO DE UN PROCESO DE FERMENTACIÓN ALCHÓLICA

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
Problema principal	Objetivo general	Hipótesis general	Variable 1. Proceso de fermentación Dimensiones V1 Selección de materia prima. Parámetros de fermentación.	Dimensiones V1 Selección de materia prima. - Lavado - Prensado - Sustrato Parámetros de fermentación. - Mosto °Brix - Temperatura - pH	Población: - Muestra: Frutos maduros Enfoque. Cualitativo y cuantitativo Tipo de Investigación Investigación básica Nivel de investigación: Explicativa Diseño: No experimental
¿Cómo el diseño de un proceso de fermentación permitirá una eficiente producción de alcohol a partir de frutas de descarte?	Diseñar un proceso de fermentación para la producción de alcohol a partir de frutas de descarte.	El diseño de un proceso de fermentación permitirá una eficiente producción de alcohol a partir de frutas de descarte.			
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas			
¿De qué manera la selección de la materia prima permitirá obtener una fermentación de calidad?	Seleccionar la materia prima para obtener una fermentación de calidad.	La selección de la materia prima permitirá obtener una fermentación de calidad.	Selección de materia prima. Parámetros de fermentación.	Parámetros de fermentación. - Mosto °Brix - Temperatura - pH	Investigación básica
¿De qué manera la identificación de las variables presentes en el equipo fermentador permitirá lograr un proceso óptimo?	Identificar los parámetros presentes en el equipo fermentador para lograr un proceso de obtención de alcohol óptimo.	Los parámetros presentes en el equipo fermentador para lograr un proceso de obtención de alcohol óptimo	Variable 2. Dimensiones V2 Alcohol		

