

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA
CARRERA INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Proyecto de Investigación previo a la obtención del Título de:

INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

TEMA:

**EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA ETAPA DE
FERMENTACIÓN EN LA DESTILERÍA ADRIANITA EN EL SECTOR LA
PRIMAVERA**

AUTORA:

ANGELA MARILU ARIAS SALGUERO

DIRECTORES:

MSc. VICTOR CERDA MEJIA

Dra. KARINA CARRERA PhD

PUYO-PASTAZA-ECUADOR

2018

DECLARACIÓN DE AUTORIA DE CESIÓN DE DERECHOS

RESPONSABILIDAD

Yo AngelaMarilyn Arias Salguero, declaro que el contenido de esta investigación es de mi auditoria exclusiva.

AngelaMarilyn Arias Salguero

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado por ANGELA MARILU ARIAS SALGUERO egresado de la carrera de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Estatal Amazónica bajo mi supervisión.

M. Sc. Víctor Cerda Mejía

Dra. Karina Carrera PhD.

INFORME DEL DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título: “EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA ETAPA DE FERMENTACIÓN EN LA DESTILERÍA ADRIANITA EN EL SECTOR LA PRIMAVERA”

Autor (a): Arias Salguero Angela Marilu

Unidad de Titulación: Carrera Ingeniería Agroindustrial

Director del proyecto: MSc. Víctor Cerda, Dra. Karina Carrera, Dr. Amaury Pérez

Fecha: 08 de junio del 2018

Introducción y contexto de la investigación:

Debido a la incidencia en los principales problemas ambientales, de la producción de alcohol etílico en el país, se han buscado alternativas para minimizar las pérdidas de azúcar fermentable y la contaminación por microorganismos durante en proceso de fermentación alcohólica (Ojeda & Cortón, 2007). Una alternativa a los grandes volúmenes de vinazas obtenidos, puede ser su recirculación a la etapa de fermentación como una opción tecnológica en el ahorro de agua para la dilución. Al reducir el volumen de vinazas como efluentes se evita la conversión de las mismas en un residual líquido agresivo al medio ambiente (Martínez, González, Penin, & Suárez, 2013). La efectividad económica de la producción de etanol, se encuentra marcadamente influenciada por la disponibilidad, precio en el mercado y los destinos de mejor uso de las materias primas. Por ello se han realizado estudios donde se emplean sustratos combinados como jugo de los filtros de cachaza, jugos clarificados, vinazas de destilería y miel final en la etapa de fermentación (Mejía & Castaño, 2008).

Los objetivos propuestos en la investigación se cumplieron satisfactoriamente. Así:

Se caracterizaron los procesos de fermentación para la obtención de etanol, mediante la obtención y descripción del flujo tecnológico.

Determinación mediante indicadores técnicos, económicos y ambientales de la etapa de fermentación, obteniendo valores que están en los rangos establecidos en el proceso de producción.

Principales resultados obtenidos

La investigación propuesta demostró que el proceso de obtención de etanol en la destilería Adrianita en el sector la primavera no es estandarizado, por lo que no se puede garantizar que los indicadores técnicos, económicos y ambientales sean constantes. Durante la etapa de fermentación se midieron parámetros de control como son: pH, °Brix, y temperatura, la capacidad de los tanques de fermentación es de 1200 litros, los mismos que obtienen a partir de 2000kg de caña de azúcar. El °Brix inicial es de 15, con un pH de 4.5 y una temperatura de 25°C, el proceso de fermentación en la destilería es de 69 horas, el °Brix final de 6, un pH de 2.7 y una temperatura de 27°C .

La investigación propuesta demostró que:

La estudiante Angela Marilu Arias Salguero ha mostrado durante el desarrollo de la investigación una elevada dedicación y un alto grado de independencia, sirviendo como guía de los principales elementos a desarrollar en la investigación.

Se destacó en la actividad curricular por su rendimiento académico, mostrando durante la investigación interés, motivación en el mismo, lo cual condujo a culminar de forma exitosa el trabajo, cumpliendo con las 400 horas establecidas en el Reglamento de Régimen Académico de la UEA.

La presentación final del trabajo cumple con las normas establecidas en la reglamentación institucional.

La redacción, ortografía, calidad de los gráficos, tablas y anexos es adecuada.

Sin otro particular.

Atentamente,

MSc. Víctor Cerda Mejía
C.I. 1802850022

Dra. Karina Carrera PhD.
CI. 1600259285

AVAL

Quien suscribe MSc. Víctor Cerda Mejía y Dra. C Karina Carrera PhD., Docentes de la Universidad Estatal Amazónica avalan el Proyecto de investigación:

Título: “EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA ETAPA DE FERMENTACIÓN EN LA DESTILERÍA ADRIANITA EN EL SECTOR LA PRIMAVERA”

Autor (a): ARIAS SALGUERO ANGELA MARILU

Certifico haber acompañado el proceso de elaboración del Proyecto de Investigación y considero cumple los lineamientos y orientaciones establecidas en la normativa vigente de la institución.

Por lo antes expuesto se avala el Proyecto de investigación para que sea presentado ante la Coordinación de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial como forma de titulación como Ingeniero en Agroindustrias, y que dicha instancia considere el mismo a fin de que tramite lo que corresponda.

Para que a si conste, firmo la presente a los 08 días del mes de Junio del 2018.

Atentamente,

MSc. Víctor Cerda Mejía
C.I. 1802850022

Dra. Karina Carrera PhD.
CI. 1600259285



Oficio No. 013-UTIC-UEA-2018
Puyo, 14 de Junio de 2018

Señores
Secretaría Académica U.E.A.
Presente.-

Por medio de presente CERTIFICO que:

El proyecto de titulación, investigación y desarrollo correspondiente a **ARIAS SALGUERO ANGELA MARILÚ**, con C.I. 1600538373 con el Tema: **"EVALUACIÓN DE INDICADORES TECNICOS, ECONOMICOS Y MEDIO AMBIENTALES DE LA ETAPA DE FERMETANCIÓN EN LA DESTILERIA ADRIANITA, SECTOR LA PRIMAVERA"**, de la Carrera de Ing. Agroindustrial, Director de proyecto. Dr. C. Victor Rodrigo Cerda Mejía. ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 05 %. Informe generado con fecha 14 de junio de 2018 por parte del Director, conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

Ing. Elías Jachero Robalino MSc.
UNIDAD DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN DE LA UEA
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

NOTA: Adjunto Informe generado el 14 de junio de 2018 por parte del Director del proyecto.

Urkund Analysis Result

Analysed Document: PROYECTO-A-M-14062018R.docx (D40185852)
Submitted: 6/14/2018 11:56:00 PM
Submitted By: amperez@uea.edu.ec
Significance: 5 %

Sources included in the report:

tesis bioetanol 2013.docx (D9435877)
Mosquera_extracto_2017829182343.docx (D30339286)
Trabajo Proyecto Titulacion Cinetica Cacao Todo.docx (D29511374)
Paty final.docx (D11662642)
2808.-Yucra Zela Sonia Lissett.pdf (D33760909)
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432007000400004
<http://qumicageneral6.blogspot.com/2008/06/fermentacin-alcoholica-fermentacin.html>
<http://www.marinponsasociados.com/PDFMEDIOAMBIENTE/bioetanol.pdf>
<http://docplayer.es/13695847-Proceso-de-produccion-de-etanol-a-partir-de-melazas.html>
<https://vdocuments.site/bioetanol-55a0ba2653db4.html>
<http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v16n3/v16n3a8.pdf>
<http://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/451/html>
<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v13n2/v13n2a05.pdf>
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282017000300597
[http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1232/Q07046.pdf?
sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1232/Q07046.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Instances where selected sources appear:

19

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El Tribunal de sustentación del Proyecto de Investigación y Desarrollo aprueba el proyecto de investigación y desarrollo con tema, **“Evaluación técnica, económica y ambiental de la etapa de fermentación en la destilería Adrianita en el sector la Primavera”**.

Dr. Manuel Pérez Quintana PhD

PRESIDENTE

MSc. Paul Manobanda MSc. Janeth Ulloa Morejón **MIEMBRO DEL**
TRIBUNAL MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Padre celestial por ser el motor fundamental y demostrarme su infinito amor y sabiduría en cada reto de mi vida, sin él no lo hubiera podido lograr. “Ama al señor con ternura y él cumplirá los anhelos más profundos de tu corazón” (Salmos 37:4)

Agradezco a mi Padre por ser mi ejemplo de superación, por su paciencia y amor en todo momento, por haberme inculcado valores, por todo el apoyo incondicional.

Agradezco a mi Madre por haberme dado la vida y ser mi mayor motivación en todo momento, porque siempre vivirás en mi corazón mi amor eterno.

Agradezco a Mercedes por haber cuidado de mí como una madre en todo momento por sus enseñanzas, paciencia y amor incondicional.

Agradezco a mis hermanas Yuly Arias, Taty Arias, Heidi Arias, Monserat Arias, y Abigail Salguero, por su tolerancia y a poyo en mis momentos de flaqueza.

Agradezco a Leidy Pico, Lily Mina, Lucero Ramos, Amparo Galeano, Jhoja Yumbra, Stefy Hidalgo, Andrea Piedra, Carla Miranda, Jackeline Carcelén, Isa Villegas, Marlen Mamallacta por enseñarme el verdadero significado de la amistad, por todo su apoyo.

Agradezco a Hernan Sánchez por todo su apoyo, comprensión, cariño, paciencia y su valiosa amistad en todo momento.

Agradezco a María José Mestanza e Izamar Gaibor por estar pendientes de mí en todo momento, y por su valiosa amistad que perdura por años.

A mis tutores M.Sc. Víctor Cerda, Doctora Karina Carrera y al Doctor Amaury Pérez por todo el apoyo, constancia y paciencia que me supieron brindar.

A mis profesores, cuyas enseñanzas siempre me acompañarán a lo largo de mi vida profesional.

A todas las personas que contribuyeron a lo largo de mi vida como estudiante.

Angela Arias Salguero

DEDICATORIA

A DIOS, por haberme dado la vida, la salud y la fortaleza y guiarme por el camino correcto para poder cumplir con los todos retos que en el transcurso de mi vida que se han presentado, por demostrarme su infinito amor y ser mi amigo fiel.

A mi Padre Hilber Arias, por ser el pilar fundamental en mi vida por el amor y sabiduría brindada, además de haber tenido el privilegio de ser su alumna en la primaria, porque sin su apoyo no hubiera llegado la meta, por la paciencia y todos sus consejos.

A mi Abuelita Juana Arias, por haberme forjado como prioridad la educación y haber cuidado de mí como una madre. A mi Madre María Salguero por todo el amor que me supo dar, y haber sido mi motivación como Docente, porque desde el cielo me proteges siempre. A Verito Gaibor por su sabiduría y amistad siempre vivirás en mi corazón.

A mis hermanas, en especial a Heidy Arias por ser mi fortaleza y admiración en mi vida, a por todo su apoyo, amor y paciencia que me supieron dar, son parte una parte fundamental en mi vida.

A toda mi familia por todo el apoyo incondicional y el cariño que siempre he tenido de su parte.

A Hernan Sánchez por toda su confianza en mí y motivarme a ser mejor persona gracias por formar parte de vida.

A todas mis amigas en especial a Leidy Pico y Lily Minaque siempre estuvieron conmigo y supieron demostrarme todo su amor incondicional.

Amis tutores por confiar en mí y saber guiarme siempre, Al Doctor Amaury Pérez por la dedicación y paciencia que tuvo conmigo.

Angela Arias Salguero

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo demostrar a través de los indicadores técnicos, económicos y medio ambientales durante la etapa de fermentación en la destilería Adrianita del Sector la Primavera si esta cumplió con los estándares publicados en la bibliografía, para ello se caracterizó el proceso de fermentación y se demostró que los indicadores técnicos (capacidad del fermentador es de 1225.04 cm³, el rendimiento de la glucosa que se convierte en etanol es del 64%, el tiempo de operación del fermentador es de 69 horas), económicos (los datos calculados del valor agregado de la producción de etanol es de \$33.05, el costo unitario 1.03\$/L) y ambientales (el consumo de materia prima en la producción de etanol es de 0.85 kg/kg y la cantidad de CO₂ que se produce en la fermentación es de 0.01 kg lo que demuestra que están en los rangos establecidos por la literatura. A partir de la determinación experimental de los parámetros operacionales, se obtuvo un °Brix inicial de 15, pH de 4.5 y temperatura 25°C. El tiempo de fermentación es 69 horas, llegando a un °Brix final de 6 y un pH de 2.7 y una temperatura de 27°C. El pH final demuestra falencias en el proceso. El proceso de fermentación en la destilería Adrianita se caracteriza por utilizar inóculo de bacterias nativas del jugo y del fermentador. El consumo de glucosa es del 64%, y la producción es de 90 L de etanol por tonelada de caña sin descartar las cabezas y colas que contienen alcoholes ligeros y pesados, concluyéndose que a pesar de que los indicadores están dentro de los estándares aceptables, sin embargo, las condiciones no garantizan la calidad del producto.

Palabras claves: fermentación alcohólica, Simulación, producción artesanal.

ABSTRACT

The objective of the research was to demonstrate, through the technical, economic and environmental indicators during the fermentation stage in the Adrianita distillery of the Spring Sector, if it met the standards published in the bibliography, for which the fermentation process was characterized. It was demonstrated that the technical indicators (capacity of the fermenter is 1225.04 cm³, the yield of the glucose that is converted into ethanol is 64%, the operation time of the fermentor is 69 hours), economic (the calculated data of the added value of ethanol production is \$ 33.05, unit cost 1.03 \$ / L) and environmental (the consumption of raw material in the production of ethanol is 0.85 kg / kg and the amount of CO₂ produced in the fermentation is 0.01 kg which shows that they are in the ranges established by the literature, from the experimental determination of the operational parameters, a °Brix initial of 15, pH of 4.5 and temperature 25°C. The fermentation time is 69 hours, reaching a final °Brix of 6 and a pH of 2.7 and a temperature of 27°C. The final pH shows flaws in the process. The fermentation process in the Adrianita distillery is characterized by using inoculum of bacteria native to the juice and the fermenter. The consumption of glucose is 64%, and the production is 90 L of ethanol per ton of cane without discarding heads and tails containing light and heavy alcohols, concluding that although the indicators are within acceptable standards, however, the conditions do not guarantee the quality of the product.

Keywords: alcoholic fermentation, simulation, artisan production.

ÍNDICE

CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.4. OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICOS	2
1.4.1. <i>OBJETIVO GENERAL</i>	2
1.4.2. <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	2
CAPÍTULO II.....	3
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	3
2.1. ANTECEDENTES	3
2.2. BASES TEÓRICAS.....	3
2.2.1. <i>FERMENTACIÓN LÍQUIDA</i>	4
2.2.2. <i>LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA</i>	4
2.2.3. <i>FERMENTACIÓN SÓLIDA</i>	4
2.2.4. <i>SUSTRATOS PARA LA FERMENTACIÓN</i>	5
2.2.5. <i>MICROORGANISMOS UTILIZADOS EN LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.</i>	5
2.2.5. <i>PARÁMETROS DE MEDICIÓN EN LA FEMENTACIÓN</i>	6
2.2.6. <i>CARACTERIZACIÓN DEL ETANOL</i>	6
2.2.7. <i>MODELOS MATEMÀTICOS</i>	8
2.2.8. <i>EVALUACIÓN MEDIANTE INDICADORES TÉCNICOS- ECONÓMICOS Y AMBIENTALES.</i>	9
CAPÍTULO III	13
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
3.1. LOCALIZACIÓN.....	13
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN:	13
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	13
3.3.1. <i>MÉTODO DE SINTESIS</i>	13
3.3.2. <i>MÉTODO COMPARATIVO</i>	13
3.3.3. <i>MÉTODO DE TRABAJO DE CAMPO</i>	14
3.3.2. <i>FUENTE DE RECOPIACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN</i>	14
3.3.3. <i>DEFINICIÓN DEL DIAGRAMA DEL FLUJO TECNOLÓGICO</i>	14
3.3.4. <i>DESCRIPCIÓN DEL FLUJO TECNOLÓGICO DE LA OBTENCIÓN DE ETANOL</i>	14
3.3.1. <i>DETERMINACIÓN DE LOS INDICADORES TÉCNICOS, ECONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES</i>	15

CAPÍTULO IV	19
4. RESULTADOS	19
4.1 ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FERMENTACION.	19
4.1.1. DESCRIPCIÓN DEL FLUJO TECNOLÓGICO.....	19
4.1.2. ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA BLOQUE DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN.	20
4.1.2. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES	20
4.2 DETERMINACIÓN DE LOS INDICADORES TÉCNICOS; ECONÓMICOS Y AMBIENTALES DE LA DESTILERIA	23
CAPÍTULO V	27
5. CONCLUSIONES RECOMENDACIONES	27
5.1. CONCLUSIONES	27
5.2. RECOMENDACIONES.....	27
CAPÍTULO VI.....	28
6. BIBLIOGRAFÍA	28
ANEXOS.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de la obtención de etanol.....	19
Figura 2. Diagrama de flujo de proceso 1) Molienda, 2) Fermentación, 3) Destilación.	20
Figura 3. Tanques de fermentación	21
Figura 4. Consumo del sustrato en el tiempo	22
Figura 5. Evolución de la temperatura mediante el descenso de tiempo.....	22
Figura 6. Evolución del pH mediante el descenso de tiempo.....	23
Figura 7. Consumo de glucosa en la etapa de fermentación	24
Figura 8. Producción del etanol.....	24
Figura 9. Producción de CO ₂ en la etapa de fermentación.	25

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Determinación de parámetros operacionales en la etapa de fermentación.	31
Anexo 2. Resultados de los parámetros operacionales.....	33
Anexo 3. Determinación de los parámetros operacionales.....	34
Anexo 4. Composición de la glucosa en función del °Brix.	37

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de los problemas ambientales, los de más incidencia en la contaminación ambiental están: la creciente contaminación del agua y los suelos por el vertimiento y descarga de residuos industriales y agrícolas. Ante el auge en la producción de alcohol etílico en el país, se han buscado alternativas para minimizar las pérdidas de azúcar fermentable y la contaminación por microorganismos durante el proceso de fermentación alcohólica (Ojeda & Cortón, 2007).

Una alternativa a los grandes volúmenes de vinazas obtenidos, puede ser su recirculación a la etapa de fermentación como una opción tecnológica en el ahorro de agua para la dilución. Al reducir el volumen de vinazas como efluentes se evita la conversión de las mismas en un residual líquido agresivo al medio ambiente (Martínez, González, Penin, & Suárez, 2013).

La efectividad económica de la producción de etanol, se encuentra marcadamente influenciada por la disponibilidad, precio en el mercado y los destinos de mejor uso de las materias primas. Por ello se han realizado estudios donde se emplean sustratos combinados como jugos de los filtros de cachaza, jugos clarificados, vinazas de destilería y miel final en la etapa de fermentación (Mejía & Castaño, 2008).

La vinaza y flemaza son subproductos que se obtienen del proceso productivo de etanol, específicamente se obtienen como residuos de la destilación de la batición fermentada. Es considerada un residuo líquido agresivo capaz de provocar serios problemas ambientales en los recursos hídricos donde se descarga. La recirculación de vinazas a la etapa de fermentación es una opción tecnológica que influye en el ahorro del agua para la dilución de la miel y en la reducción de grandes volúmenes de vinazas generados (Estrada, Garrido, Pérez, & Zumalacárregui, 2016).

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los bajos rendimientos existentes en la producción de etanol en la provincia de Pastazano están cuantificados. Por ello la presente investigación evalúa mediante indicadores técnicos, económicos y ambientales, la etapa de fermentación con el fin de

determinar si se debe al mal manejo de parámetros de control en el proceso, ocasionando pérdidas económicas a los productores.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Debido a los altos costos actuales de las materia prima para la fermentación alcohólica y a la necesidad de aprovechar al máximo los contenidos de azúcar fermentable en las mismas, se desarrolló el presente trabajo de investigación con el objetivo de determinar, si el rendimiento se ve afectado en la etapa de fermentación, traduciéndose esto en pérdidas de azúcar que deberían ser cuantificadas con el fin de evitar un bajo rendimiento de etanol y la alta producción de vinazas que repercuten al medio ambiente.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La baja producción de etanol en la etapa de fermentación en la destilería Adrianita del Sector la Primavera, se debe al mal manejo de proceso de producción.

1.4. OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICOS

1.4.1.OBJETIVO GENERAL

Evaluar a través de indicadores técnicos, económicos y ambientales, la etapa de fermentación en la destilería Adrianita del Sector la Primavera.

1.4.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar los procesos de fermentación para la obtención de etanol.
2. Determinar los indicadores técnicos, económicos y medio ambientales de la etapa de fermentación.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES

El proceso de obtención de etanol a partir de caña de azúcar comprende la extracción del jugo de caña rico en azúcares y su acondicionamiento para hacerlo más asimilable por las levaduras durante la fermentación (Cardona, Sánchez, Montoya, & Quintero, 2005; Montoya, Quintero, Sánchez, & Cardona, 2005).

La fermentación alcohólica denominada también o fermentación etílica es un proceso biológico en plena ausencia de oxígeno, originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono por regla general azúcares: como pueden ser por ejemplo la glucosa, la fructosa, la sacarosa y el almidón. Para obtener como productos finales: un alcohol en forma de etanol ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$), dióxido de carbono (CO_2) en forma de gas (Girón & Funes, 2013).

Las especies alcohólicas aptas para el consumo humano, proveniente de la fermentación, destilación, preparación o mezcla de productos alcohólicos de origen vegetal, salvo las preparaciones farmacéuticas, jarabes o similares. Entre ellas se encuentran bebidas de muy variadas características, y que van desde los diferentes tipos de brandy y licor, hasta los de whisky, anís, tequila, ron, vodka, cachaca y ginebra, entre otras (Zurita, 2013).

En proceso de producción artesanal de etanol, a partir de caña de azúcar, participan microorganismos nativos de la caña, entre los que destacan levaduras de *Sacharomices.sp.torulasp ypichiasp*. Sin embargo, en el proceso industrial de obtención de etanol, particularmente para fines carburantes, no es deseable tener la permanencia de linajes diferentes a *Sacharomices.sp*, debido a los requerimientos de alto rendimiento necesarios para alcanzar la rentabilidad económica (Gonzalez, del Angel, Gonzalez, Rodriguez, & Vazquez, 2017).

2.2. BASES TEÓRICAS

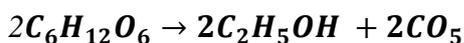
2.2.1. FERMENTACIÓN LÍQUIDA

Se puede definir a la fermentación líquida (FL) o sumergida (abreviada en inglés como SmF) como un cultivo de células microbianas dispersas en forma homogénea en un recipiente agitado que puede o no ser aireado por medios mecánicos (Gómez, 2001).

En la eficiencia en la producción másica de *Trichoderma harzianum* Rifaise evaluó la metodología de producción por fermentación líquida estática en forma artesanal. Para ello se utilizó como sustrato melaza de trapiche de caña panelera fresca y levadura panadera granulada (*S.cerevisiae*), debido a la alta cantidad de estructuras reproductivas obtenidas por este método de fermentación líquida, se puede recomendar su utilización en la fase de preparación de inóculo dentro del proceso de producción para agilizarlo, así como para la producción final (García, Durán, & Riera, 2006).

2.2.2. LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

Es una bioreacción que permite degradar azúcares en alcohol y dióxido de carbono. La conversión se representa mediante la ecuación:



Ec. 1

Las principales responsables de esta transformación son las levaduras. La *S.cerevisiae*, es la especie de levadura usada con más frecuencia (Vázquez & Dacosta, 2007).

La fermentación alcohólica es un proceso anaeróbico en el cual intervienen microorganismos, estos transforman los azúcares presentes en algunos alimentos en alcohol, dióxido de carbono, y energía. El proceso de fermentación es utilizado para la fabricación de bebidas alcohólicas tales como cerveza, vino, sidra, cava, sake, entre otras; la industrialización de la producción y la globalización de la comercialización del alcohol han aumentado tanto la cantidad de consumo en todo el mundo (Contreras & Romero, 2015).

2.2.3. FERMENTACIÓN SÓLIDA

La fermentación sólida puede ser definida como un cultivo de microorganismos adheridos a un soporte sólido poroso y humedecido en el cual el medio líquido está extendido en una capa muy fina en contacto con una interface aérea. Las bacterias, levaduras y hongos son los microorganismos que pueden crecer en fermentación sólida,

pero la mayoría de las investigaciones se llevan a cabo con hongos filamentosos. El crecimiento en forma de micelio y su tolerancia a bajas actividades de agua y condiciones de alta osmolaridad hacen que los hongos sean la microflora natural más adecuada para la fermentación sólida(Díaz et al., 2011)

2.2.4. SUSTRATOS PARA LA FERMENTACIÓN

La principal materia prima para la producción de etanol es la caña de azúcar, ya sea en forma de jugo de caña o como melazas. Es posible obtener cerca de 70 L de etanol/ton de caña, y si se emplean melazas, se obtienen alrededor de 250 L de alcohol en dependencia de la eficiencia de fermentación y unos 100 kg de azúcar. En lo concerniente al costo de producción, se ha estimado un rendimiento de 219 L de etanol a partir de 1 ton de melazas con un contenido de azúcares de 46% (Saura et al., 2009).

En las condiciones actuales, la crisis energética ha llevado a muchos países al incremento de su producción de etanol vía fermentativa utilizando como materia primacaña de azúcar, mieles de caña y raíces de yuca (tubérculo) debido a su potencial para la producción de etanol la caña, o más bien sus jugos, son un sustrato ampliamente (Otero & Saura, 2005).

2.2.5. MICROORGANISMOS UTILIZADOS EN LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.

Para la producción de etanol utilizando la levadura *S.cerevisiae*, se han registrado valores de 50,5 g/L a las 24 h, partiendo de 100 g/L con un rendimiento del 97,2 %, en condiciones de fermentación, que han permitido conocer el tiempo en el que se consume el sustrato, así como la producción de etanol(Suárez , Garrido, & Guevara, 2016).

Según lo dicho porMachín, Garrido, and Rodríguez (2016) el proceso de producción de alcohol, por vía fermentativa, a través de la conversión de hexosas en etanol, essegún la siguiente ecuación:



Ec.2

El menor volumen molar parcial presentado por las sulfonamidas sódicas (SA-Na) y por volúmenes molares de transferencia de sulfanilamida SA y sulfacetamida como especies moleculares SCM , en la mezcla aguaetanol respecto al correspondiente en

agua pura, puede interpretarse en términos de una mayor solvatación en el medio orgánico que en el medio estrictamente acuoso (Martinez, Gomez, & Avila, 2002).

Los procesos de fermentación en continuo usando modelos con dos variables de estado biomasa y sustrato, y ecuaciones de tasas de crecimiento que acoplan ambas variables presentan altas no linealidades (Echeverry, Quintero, Ramírez, & Álvarez, 2004).

Se utiliza la simulación de los esquemas tecnológicos para la producción de etanol anhidro a partir de caña de azúcar y maíz, se determinó usando el simulador de procesos *Aspen Plus* versión 11.1 Aspen Technologies, Inc., EUA (Cardona et al., 2005).

2.2.5. PARÁMETROS DE MEDICIÓN EN LA FEMENTACIÓN.

pH: Este es un factor importante en la fermentación, debido a su importancia en el control de la contaminación bacteriana como también al efecto en el crecimiento de las levaduras, en la velocidad de fermentación y en la formación de alcohol. Durante la fermentación la levadura toma el nitrógeno de los aminoácidos orgánicos, perdiendo su carácter anfótero (Zurita, 2013)

Temperatura: El crecimiento de las levaduras y hongos que favorecen la fermentación alcohólica está directamente asociado con los cambios de temperatura; si la temperatura aumenta la fermentación transcurre más rápido, sin embargo la conversión a etanol disminuye aumentando la conversión a compuestos secundarios; si por el contrario la temperatura es muy baja las levaduras en el mosto presentarán inactividad (Contreras & Romero, 2015).

°Brix: Los grados °Brix representan una escala arbitraria para medir densidades de soluciones de azúcares y equivalen al porcentaje en peso de sólidos solubles de una muestra, que principalmente son azúcares. Su determinación se realiza con un refractómetro o con un hidrómetro (Considine, 1982, Potter, 1995 y Badu, 1988). Con el refractómetro se determina el índice de refracción de un haz de luz que atraviesa el medio en el cual se encuentran los azúcares (Justo, García, Hernández, & Parra, 2001).

2.2.6. CARACTERIZACIÓN DEL ETANOL

El etanol o alcohol etílico es el producto químico orgánico sintético más antiguo usado por el hombre, se presenta como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78 °C, su fórmula química es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$, siendo el componente activo

esencial de las bebidas alcohólicas, además es una de las materias primas importantes para las síntesis (Castaño & Garzón, 2009).

La producción de alcohol a partir de mieles y meladuras derivadas del proceso de transformación de la caña de azúcar, está conformada por varias etapas, entre las cuales se encuentran: una etapa de reacción bioquímica (fermentación), seguida por una etapa de extracción del alcohol (destilación), después una etapa de separación en la que se obtiene alcohol absoluto (deshidratación) y, por último, una etapa de tratamiento de efluentes (compostaje) (Ordóñez, Rivera, & Mejía, 2013).

El proceso de producción de etanol, la etapa de fermentación donde la levadura que convierte los azúcares derivados del almidón de maíz al etanol no pueden tolerar el etanol concentraciones superiores a aproximadamente 10% p/v. Esta limitación requiere el uso de fermentadores grandes y caros y también conduce a altos costos para la separación de grandes cantidades de agua del producto y subproducto alimentación animal (Taylor, Kurantz, Goldberg, & Craig, 1998).

En la fermentación alcohólica se utiliza un biorreactor que tiene dos corrientes de salida: una corriente líquida compuesta por etanol, levadura, agua con residuales de glucosa y complementos no degradados, y otra corriente gaseosa compuesta esencialmente por CO₂ y vapores de agua y etanol (Ortega, Pérez, & López, 2016).

Los altos niveles de etanol en el medio provocan inhibición de la fermentación, para el caso de las levaduras se ha reportado daño en la membrana o cambio en sus propiedades. El etanol inhibe el crecimiento de la levadura y la producción de alcohol en forma no competitiva, y concentraciones por encima de 110 g/L los inhibe totalmente, aunque con las levaduras más tolerantes es posible una producción de etanol (más no crecimiento) con una concentración de un 20% de éste (Lauzurique, Cárdenas, Pérez, & Molina, 2017).

El rendimiento teórico estequiométrico para la transformación de glucosa en etanol es de 0.511 g de etanol y 0.489 g de CO₂ por 1 g de glucosa. El rendimiento varía entre 90% y 95% del teórico, es decir, de 0.469 a 0.485 g/g. En la industria varían entre 87 y 93% del rendimiento teórico, Otro parámetro importante es la productividad (g/h/l), la cual se define como la cantidad de etanol producido por unidad de tiempo y de volumen. En sistemas en modo discontinuo se logran obtener concentraciones finales de

alcohol entre 8 y 12 GL y rendimientos estequiométrico entre 80 y 90%. En modo discontinuo la productividad es baja, entre 1 y 2.5 g/L/h (Vázquez & Dacosta, 2007).

Según Ribas, Hurtado, Garrido, Domenech, and Sabadí (2011) se utiliza un fermentador de acero inoxidable de 270 m³ de volumen de operación. Se considera un 10% de volumen de inóculo con conteo total de células igual a 800x10⁶ equivalente a 25.4 kg/m³. Para controlar la temperatura del proceso en 32 °C se adiciona un intercambiador de placas con una superficie de transferencia de A= 43.26 m².

Según el autor Cardona et al. (2005) los parámetros cinéticos de crecimiento microbiano son las herramientas básicas para escalar los procesos biotecnológicos evaluados en de laboratorio, puesto que permiten predecir el desarrollo de la fermentación y evaluar los rendimientos y las productividades en los procesos. Los más importantes son: La velocidad específica máxima de crecimiento ((μ_{max}), la constante de afinidad por el sustrato (Ks) y los coeficientes de rendimiento (Y_{xs}, Y_{xp}, etc).

2.2.7. MODELOS MATEMÁTICOS

2.2.7.1. Ecuaciones de Monod

El objetivo del método diferencial de análisis es la evaluación de las velocidades de crecimiento de biomasa y de consumo de sustrato a partir de un conjunto de datos experimentales de las concentraciones de biomasa y de sustrato en función del tiempo en un cultivo por lotes (Trejos, Alzate, & Garcia, 2009).

El factor de correlación obtenido, prácticamente igual para ambos modelos, se explica considerando el elevado valor de la constante de saturación de Monod (KS), lo cual permite inferir que en la expresión de Monod: $\mu = \mu_{max} S / (KS + S)$, la concentración de sustrato puede despreciarse en el denominador, transformando la misma en una cinética de primer orden. Por esta razón el análisis se limita a evaluar solamente la primera alternativa. Esto se hace aún más evidente al observar que en ambos casos el valor obtenido de la constante k_d, es prácticamente el mismo (M. Rosa, Peralta, & Bosco, 2010).

Según Taylor, Kurantz, Goldberg, and Craig (1997).

$$\mu = \mu_{max} \frac{S}{0.28 + S} \left(1 - \frac{P}{P_{max}}\right) \left(1 - \frac{T - 35}{T_{max} - 35}\right),$$

$$0 < P < P_{max}, \quad 35 < T < T_{max}$$

$$\mu = 0.233 \left(\frac{S}{0.28 + S} \right) \left(1 - \frac{P}{76.0} \right) \left(1 - \frac{T - 35}{8.04} \right),$$

$$0 < P < 76.0, \quad 35 < T < 43.04$$

Ecuación de biomasa

Según Taylor *et al.* (1998)

$$\frac{dx}{dt} = \mu X$$

Ec. 3

Ecuación del sustrato

$$-\frac{ds}{dt} = qsX$$

Ec. 4

2.2.8. EVALUACIÓN MEDIANTE INDICADORES TÉCNICOS-ECONÓMICOS Y AMBIENTALES.

2.2.8.1. EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA

Los conceptos fundamentales y las operaciones matemáticas necesarias para el análisis económico básico, son básicas para el diseño de procesos. Los cálculos de rentabilidad se combinan con técnicas de investigación de operaciones, por lo que cada alternativa que se está evaluando en el diseño puede ser obtenida con una cantidad justificable de esfuerzo (Galindo, 2008).

Indicadores técnicos: capacidad de la planta, cantidad de materias primas disponibles, tiempo real de operación, capacidad de los equipos y cantidad de equipos redundantes. Estos indicadores tienen una influencia marcada en el diseño de proceso debido a que inciden directamente en el costo de producción o el costo de inversión.

Capacidad de la planta: una de las formas de determinar la capacidad de la planta es mediante la demanda del mercado y el establecimiento de las capacidades iniciales que consideran los cambios en la demanda futura y los tiempos a los cuales debe hacerse esa ampliación (Rudd & Watson, 1968).

Modelo matemático para estimar la capacidad de la planta

La estimación de la capacidad de la planta se realiza a partir de la demanda del producto, para lo que se tendrá en cuenta la incertidumbre en la estimación de los valores futuros de esta demanda. Esta estimación se puede expresar como (Rudd & Watson, 1968).

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1 + \frac{F}{V}}{1 + \frac{F}{V^*} \frac{K_{ef}}{K_0}} \text{ (kg/d)}$$

Ec. 5

Dónde: P (Precio de producción, \$/kg), P_0 (precios de producción a la capacidad decidida), F (Costos fijos), V (Costos variables), K_{ef} (Capacidad efectiva de la planta, unidades/año), K_0 (capacidad inicial, en unidades/año).

También puede determinarse teniendo en cuenta la disponibilidad de las materias primas, recomendándose decidir por el criterio que resulte limitante.

Tiempo real de operación: con relación al tiempo real de operación, el factor fundamental para el cálculo es la estimación de la pérdida de días de trabajo por mantenimiento a los equipos (A. Rosa, 1996).

También puede determinarse teniendo en cuenta la disponibilidad de las materias primas, recomendándose decidir por el criterio que resulte limitante.

Cantidad de materias primas disponible: se refiere a la cantidad de materia prima renovable y no renovable de que se dispone para afrontar la producción (Galindo, 2008).

Capacidad de los equipos y la cantidad de equipos redundantes: estará en función de las corrientes de materias primas, productos intermedios y finales, calculados por los

balances de masa y energía, mientras que la cantidad de equipos redundantes, es posible determinarla siguiendo expresión de fiabilidad (Pérez, 2012).

2.2.8.2. INDICADORES ECONÓMICOS

Los modelos básicos de ingeniería económica basados en la determinación de indicadores como el Valor Actual Neto (VAN), Valor Agregado (VA), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Período de recuperación (PRD), son los más utilizados en la evaluación económica y son esenciales en los estudios de factibilidad de cualquier proyecto de ingeniería.

Cantidad de materias primas disponible: se refiere a la cantidad de materia prima renovable y no renovable de que se dispone para afrontar la producción (Galindo, 2008).

Si el proyecto de inversión tiene un VAN positivo, el proyecto es rentable. Entre dos o más proyectos, el mejor es el que tenga el VAN más alto.

La Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) indica el % de retorno de la inversión y es un indicador de rentabilidad relativa del proyecto, por lo cual cuando se hace una comparación de tasas de rentabilidad interna de dos proyectos no tiene en cuenta la posible diferencia en las dimensiones de los mismos. Una gran inversión con una TIR baja puede tener un VAN superior a un proyecto con una inversión pequeña con una TIR elevada.

Se puede emplear cualquiera como criterio de selección de alternativas, siendo el mejor el VAN por ser menos sensible, además de ser una medida real de la cantidad de dinero obtenido al cabo de un tiempo. Entre empresarios es más fácil entenderse con la TIR y el PRD y como se apreció en las encuestas un por ciento importante prefiere como criterio de decisión el PRD (Pérez, 2012).

El Valor Agregado (VA) es el incremento de valor obtenido en cada fase de la actividad económico-productiva y se obtiene deduciendo del precio del producto terminado los costos de todos los materiales o servicios adquiridos del exterior que se han necesitado (Pérez, 2012).

2.2.8.3. EVALUACIÓN AMBIENTAL

La evaluación ambiental es una herramienta metodológica que permite hacer un análisis de las actividades humanas (entre ellas las industriales), al valorar su incidencia ambiental. La evaluación ambiental se basa en la descripción de los efectos y/o daños que pueden darse sobre áreas de protección definidas (salud humana, ecosistemas y recursos naturales), en diferentes medios (o compartimentos)(Galindo, 2008).

Indicadores ambientales

Los indicadores ambientales constituyen el instrumento de medida que posee el Sistema de Gestión Ambiental para medir el grado de contaminación que ejerce una industria sobre sus alrededores. Tradicionalmente estos han sido indicadores cualitativos, que han servido para evaluar el impacto ambiental y se han propuesto para los procesos previos inversionistas de la agroindustria cubana, logrando una síntesis de las dimensiones técnica, económica y ambiental, obteniendo así tecnologías compatibles con el ambiente (Galindo, 2008).

A continuación, se muestran un conjunto de indicadores cuantitativos, que pueden ser calculados a partir de los balances de masa y energía, estos son: a) los indicadores de consumo: el consumo de materias primas renovables y no renovables, de agua y de energía, b) indicadores de vertimiento: las emisiones de gases, las emisiones de líquidos y las emisiones de sólidos.

Indicadores de consumo.

El consumo de materias primas se refiere a las cantidades de materias primas renovables y no renovables, consumidas por unidad de producto(Suárez & Valdés, 2014). Es posible contabilizar económicamente este indicador a partir del gasto de la materia prima renovable y no renovable y su por ciento en la estructura del costo de producción.

El consumo de agua, como indicador ambiental se refiere al consumo relativo en función de la producción total anual y se define como el volumen de agua necesaria para obtener una producción.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. LOCALIZACIÓN

La presente investigación se realizó en la Provincia de Pastaza Cantón Pastaza en el sector la Primavera en la destilería Adrianita. La duración de la investigación duró 400 horas para la obtención de datos, trabajo de campo y realización.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN:

Se utilizaron fuentes bibliográficas recopiladas de diferentes publicaciones realizadas, centros de investigaciones, bases de datos de instituciones públicas, entre otros, esto permitirá obtener información de la producción de etanol, así también del proceso de destilación del mismo.

La naturaleza del estudio es de vital importancia debido a que es de tipo explorativo descriptivo y explicativo; tomando en cuenta que la investigación no cuenta con antecedentes en la provincia de Pastaza. Asimismo, esta investigación es un aporte de gran importancia para los productores de etanol en los diferentes sectores y ciudades de la amazonia.

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

3.3.1. MÉTODO DE SINTESIS

El método de síntesis se empleó a raíz de la recopilación de información selecta de investigaciones, experimentos, tesis entre otros; que fueron estudiados por diferentes autores y que previamente a una lectura minuciosa se llegó a establecer el análisis de puntos de interés, que ayudarán como guía para la realización del presente proyecto de investigación y desarrollo.

3.3.2. MÉTODO COMPARATIVO

Con el método comparativo se logra manejar el conocimiento de estudios profundos que contienen información similar al proyecto de investigación, logrando llegar a identificar procesos que difieren en algunos aspectos. Este método contribuye a identificar por qué los casos son diferentes, descubriendo detenidamente el desarrollo de una estructura general que permitió tal variación; además la comparación en sí de un proyecto busca la

forma de explicar las actitudes y el conocimiento tácito de descubrimientos, teorías o experimentaciones que se puede utilizar como complemento a otros métodos.

3.3.3. MÉTODO DE TRABAJO DE CAMPO

En el método de trabajo de campo se puede encaminar exclusivamente en la Provincia de Pastaza, Cantón Pastaza sector la Primavera, que se considera el punto de partida de esta investigación cuya validez se contrasta a lo largo de la investigación de este proyecto. Una vez concluido el diseño del trabajo de campo se puede incrementar, convalidar y estructurar los procedimientos que permitieron realizar todas las observaciones necesarias y la recolección de datos para la investigación.

El propósito de este estudio se dividió en objetivos específicos que, en determinada parte del cuerpo de la investigación, ayudará a la recopilación de resultados obtenidos de investigaciones ejecutadas para la obtención de etanol en la etapa de fermentación.

3.3.2. FUENTE DE RECOPIACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La información se obtuvo con la aplicación de dos fuentes primaria y secundaria.

1.- Fuentes Primarias:

Trabajo de campo- observación directa de la etapa de destilación

2.- Fuentes Secundarias:

Artículos científicos, libros, tesis, documentos, entre otros.

3.3.3. DEFINICIÓN DEL DIAGRAMA DEL FLUJO TECNOLÓGICO

Para la construcción del diagrama de flujo de proceso en de la etapa de fermentación, se realizó mediante la observación del proceso, la recopilación de datos y parámetros operacionales que se deben tomar en cuenta en el proceso. Donde se obtuvo los datos iniciales y finales de la temperatura, °Brix y pH. Estos datos fueron necesarios para la construcción del diagrama de flujo del proceso de fermentación y la descripción del mismo.

3.3.4. DESCRIPCIÓN DEL FLUJO TECNOLÓGICO DE LA OBTENCIÓN DE ETANOL

En la descripción del flujo de proceso se realizó una investigación de información de diferentes autores para la obtención de etanol. Una vez informados del proceso, de

manera general, y explícita, se procedió a observar el proceso para la obtención de etanol donde se enfatizó en la etapa de fermentación e identificó cada uno de los procesos tanto de entrada como de salida.

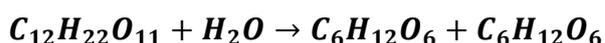
3.3.1. DETERMINACIÓN DE LOS INDICADORES TÉCNICOS, ECONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES

Utilizando un refractómetro de marca Atago se procede a medir los °Brix, para determinar la temperatura, se utilizó un termómetro infrarrojo Pirómetro Digital Laser Ruhlmann, un medidor de pH marca Apera, y un densímetro marca Marienfeld.

REACCIÓN ESTEQUIOMETRÍA DE LA SACAROSA

Según (Henley, 1973) La azúcar refinada (sacarosa) se puede convertir en glucosa y fructosa mediante el proceso de inversión según la reacción siguiente:



Sacarosa **d- glucosa d- fructosa**

Ec.6

REACCIÓN ESTEQUIOMÉTRICA PARA PRODUCCIÓN DE ETANOL

Según Zumalacárregui, Pérez, Lombardi, Rodríguez, and Zumalacárregui (2008) los azúcares de acuerdo con la siguiente reacción: establece la ecuación de producción de etanol a partir de la glucosa.



Ec. 7

Para la presente investigación los indicadores a considerar son:

Indicadores técnicos: Rendimiento, tiempo de operación, capacidad.

Indicadores económicos: Costo unitario, valor agregado.

Indicadores medio ambientales: consumo de materia prima, vertimiento de gases.

INDICADORES TÉCNICOS

Atendiendo a las consideraciones propuestas se seleccionaron los siguientes indicadores técnicos: a) rendimiento b) tiempo real de operación, c) capacidad de los equipo

a) Rendimiento

$$R = \frac{G_0 - G_f}{G_0} * 100$$

Ec. 8

Donde:

R (rendimiento), G_0 (glucosa inicial), G_f (glucosa final).

b) Estimación de la Capacidad

Mediante las mediciones tomadas del fermentador se calculará la capacidad del mismo. La forma geométrica cubica que tiene el fermentador utilizado en la destilería Adrianita se observa en la figura la misma que tiene las dimensiones de largo, ancho y profundidad. Por lo tanto, la capacidad se calcula con la siguiente expresión:

$$V = l * a * h$$

Ec. 9

c) Modelo para determinar el tiempo de operación de la planta

El tiempo de operación de una planta está en función del régimen de operación de la planta (continuo, discontinuo o semicontinuo). Para el caso de que la planta opere de forma continua se propone la siguiente expresión (Pérez, 2012).

$$Top = Topsp + tp + tmp$$

Ec. 10

Donde:

$topsp$ (tiempo de operación de la planta sin parada, h), tp (tiempo por paradas (se puede estimar a partir de la probabilidad de fallo de los equipos que intervienen en el proceso, h), tmp (tiempo por mantenimiento planificado, h).

INDICADORES ECONÓMICOS

Atendiendo a las consideraciones propuestas se seleccionaron los siguientes indicadores técnicos: a) Valor Agregado, b) Costo Unitario.

a) Valor Agregado

La expresión para determinar el valor agregado de un producto o proceso, a partir de su definición se muestra a continuación:

$$VA = \text{Ingresos} - (\text{cost MP} - \text{cost fij})$$

Ec.11

b) Costo Unitario

$$CU = \frac{CP}{P}$$

Ec. 12

Donde:

CU (costo unitario), (costo de producción), P (producto).

INDICADORES MEDIO AMBIENTALES

Modelo matemático para determinar los indicadores medioambientales

Las expresiones para determinar cada uno de los indicadores se relacionan a continuación (Pérez, *et al.*, 2011). Estos indicadores se pueden determinar como resultado de un detallado balance de masa y energía en cada uno de los equipos que intervienen en el proceso.

Modelo matemático para determinar los indicadores ambientales de consumo.

$$ICMP = \frac{\sum(M)}{P}$$

Donde:

Ec. 13

ICMP (indicador de consumo de materia prima por unidad de producto terminado).

Modelo matemático para determinar los indicadores ambientales de vertimiento de gases.

$$IGR = \frac{\sum(G)}{P}$$

Ec. 14

Donde:

IGR (indicador de cantidad de gases contaminantes generados por unidad de producto terminado).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN.

Mediante la recopilación de los datos del proceso de obtención de etanol que se realiza en la destilería “Adrianita” se plasmó el siguiente diagrama de flujo como se muestra en la (figura 1).

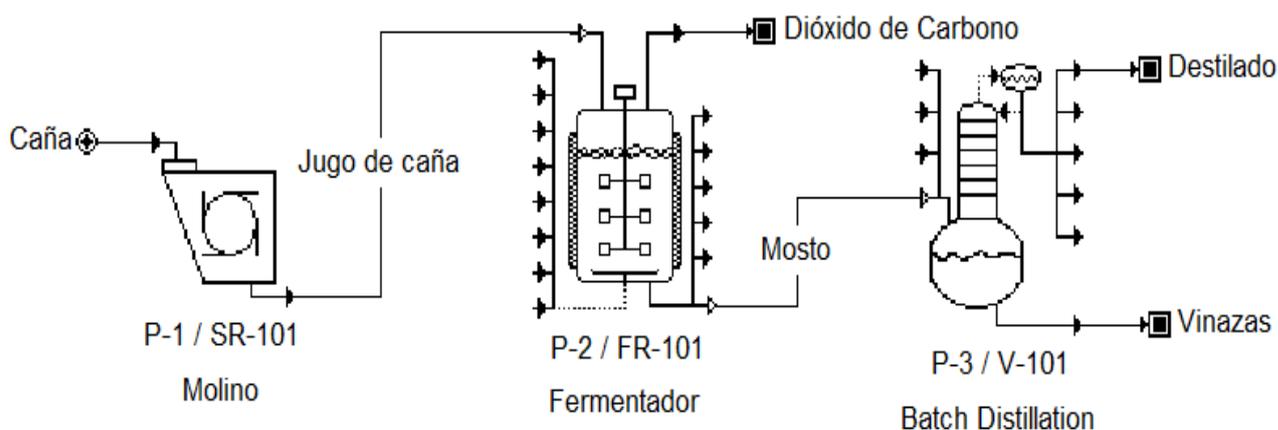


Figura 1. Diagrama de flujo de la obtención de etanol

Fuente: Elaboración propia

4.1.1. DESCRIPCIÓN DEL FLUJO TECNOLÓGICO

El proceso de obtención de etanol inicia con la recepción de la materia prima (caña de azúcar) la misma debe estar en óptimas condiciones para el proceso, siendo entregada por los cañicultores de las zonas aledañas a la destilería “ADRIANITA”, luego esta materia prima pasa al proceso de selección, posteriormente es molida una cantidad de 2000 kg (2 toneladas), conduciendo el jugo por una tubería de 5cm de diámetro hacia los tanques de fermentación, los mismos que tienen una capacidad de 1200 L y son de construcción mixta (cemento internamente madera de roble), la cual ayuda a la fermentación, en esta etapa el jugo de caña pasa por tres días hasta convertirse en mosto en los fermentadores, donde precipita los residuos fibrosos y forma una costra que crea un ambiente anaerobio dando inicio a la fermentación,

los azúcares se consumen y se convierten en alcohol emanando CO₂, pasa este mosto al calentador con capacidad de 400 L, después al destilador que tiene la misma capacidad, el tiempo de destilación dura tres horas por parada, este proceso consiste en calentar el mosto hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor, posteriormente pasa al serpentín o condensador que consiste en enfriar el vapor, para recuperar dichos componentes en forma líquida, saliendo ya el etanol a un recipiente de acero inoxidable donde miden con un alcoholímetro 72GL, se obtiene 30 L de etanol por cada 400 L de mosto con un total de 90 L de etanol por los 1200 L, descartándose 370 L de vinaza del proceso de obtención de etanol en la destilería. Según (Chaves, 2013) menciona que por cada tonelada de caña se obtiene de 85 a 90 L de etanol, lo que cual demuestra que el rendimiento obtenido en el estudio no está dentro de estos parámetros.

4.1.2. ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA BLOQUE DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN.

Mediante la recopilación de los datos del proceso de obtención de etanol que se realiza en la destilería “Adrianita” se plasmó el siguiente diagrama de bloque como se muestra en la (figura 2).

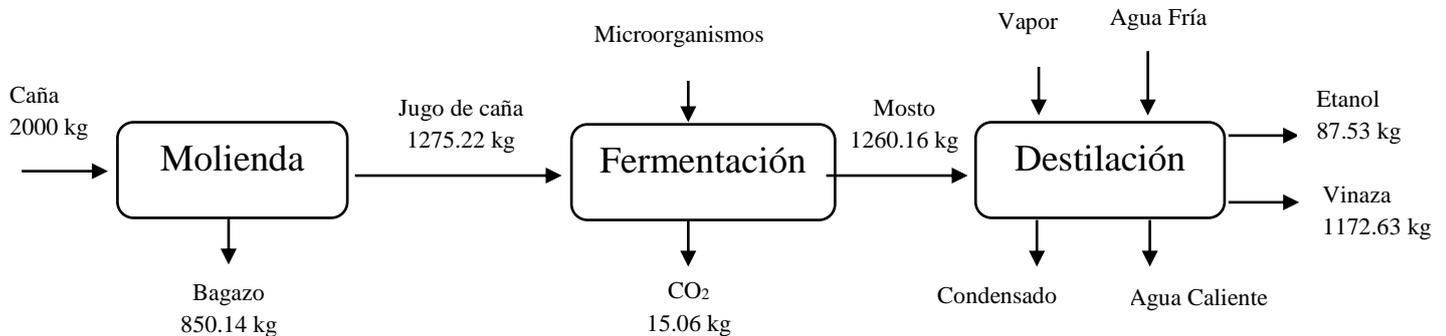


Figura2.Diagrama de flujo de proceso 1) Molienda, 2) Fermentación, 3) Destilación.

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES

Mediante la recopilación de parámetros operacionales en los tanques de fermentación que tiene una capacidad de 1200 L los mismos que obtienen a partir de 2000 kg de caña de azúcar. Como se observa en la figura 3 donde se obtuvieron los datos durante intervalos de una hora, mediante el consumo de azúcares fermentables se demostró el

mayor rendimiento de etanol en segunda recopilación de datos operacionales, como el °Brix inicial es de 15, con un pH de 4.5 y una temperatura de 25°C, el proceso de fermentación en la destilería s de las 69 horas, y el °Brix final de 6 y un pH de 2.7 y una temperatura de 27 °C. En la figura 3 se observa el descenso de los °Brix de 15 a 6 al transcurrir las 69 horas de fermentación.

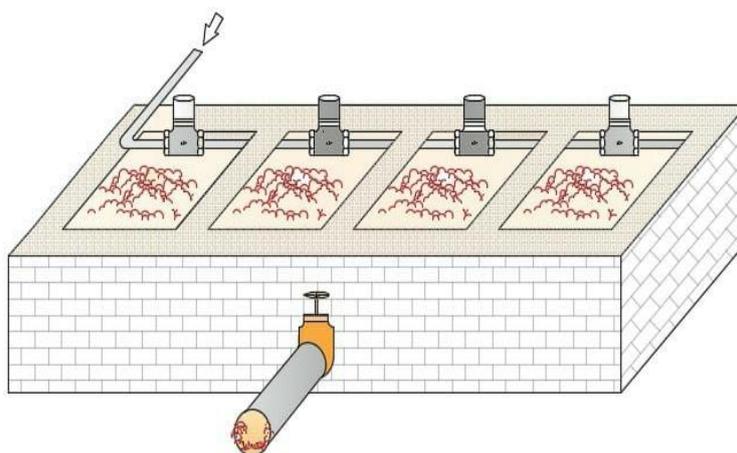


Figura 3.Tanques de fermentación

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los estudios realizados por(Chimbo & Guerrero, 2015) la caña de azúcar debe tener un grado °Brix entre 16 y 20, y su temperatura óptima para las levaduras se encuentra entre 25 y 30 °C, además los valores de pH óptimos para el inicio del proceso de fermentación está comprendido en el rango de 4.4 a 5. Lo cual demuestra que los valores obtenidos en el estudio se encuentran dentro de estos parámetros a excepción del pH final que tubo al transcurrir las 69 horas en los tanques de fermentación. Pero a medida que el pH se hace menor la fermentación se hace más lenta porque las levaduras no se desarrollan adecuadamente. El rango de pH para las *S. cerevisiae* es de 4.4 - 5.5 siendo el óptimo de 4.5 para su crecimiento.

El pH es un factor importante en el proceso de fermentación ya que controla la contaminación por microorganismos extraños al proceso. Además, también influye en el crecimiento de la levadura y en la producción de etanol. Durante el proceso la levadura toma nitrógeno de los aminoácidos orgánicos perdiendo así su carácter anfótero y pasando a ácido. Esto causa una reducción del pH en el medio. Cuanto menor sea el pH del medio menor es la probabilidad de contaminación, ya que se hace un medio hostil para posibles microorganismos extraños que quieran crecer allí.

En la figura 4, se observa el metabolismo anaerobio de los carbohidratos, esto significa que existe una reducción de la cantidad de azúcares fermentables que se convierte en biomasa y etanol por acción de las levaduras adaptadas que existen en los tanques de fermentación.

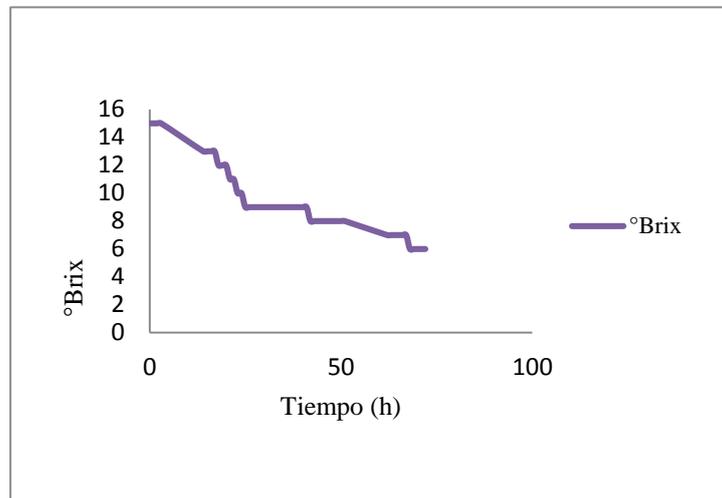


Figura 4. Consumo del sustrato en el tiempo

Fuente: Elaboración propia

La figura 5, describe la variación de la temperatura, se observa un incremento de la temperatura debido al calor generado durante la fermentación, ya que es un proceso exotérmico en donde una mol de glucosa (180 g) produce 25.4 Kcal, en el caso de la destilería a “Adrianita”, se observa un máximo 36.6 °C a las 45 horas, luego de lo cual empieza a decrecer.

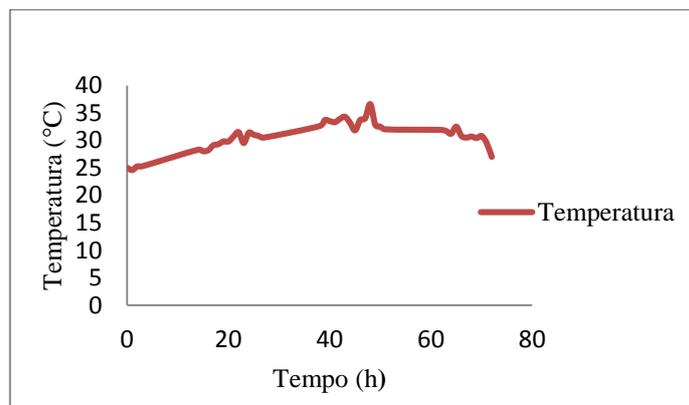


Figura 5. Evolución de la temperatura mediante el descenso de tiempo.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 6, se observa el decrecimiento del pH en función del tiempo. Así, el pH inicial es de 4.5, al transcurrir las 69 horas del proceso, el pH es de 2.7. Sin embargo, esto no constituye un parámetro de control en esta destilería, pues empíricamente detiene el proceso de fermentación a los tres días.

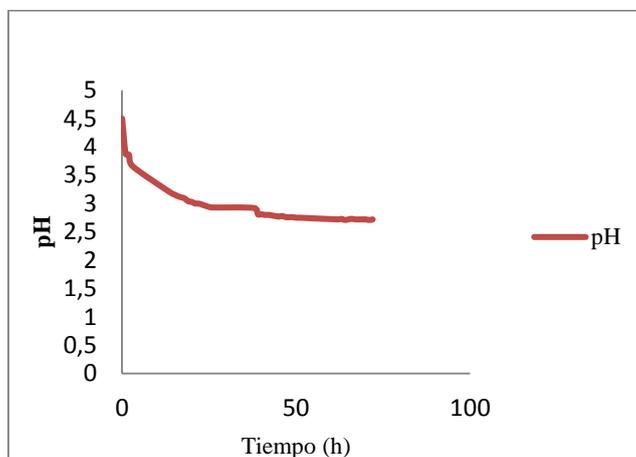


Figura 6. Evolución del pH mediante el descenso de tiempo.

Fuente: Elaboración propia

4.2 DETERMINACIÓN DE LOS INDICADORES TÉCNICOS; ECONÓMICOS Y AMBIENTALES DE LA DESTILERIA

Mediante la Ec.6 se determinó el porcentaje de glucosa y fructosa en los gramos de azúcar por cada litro de agua, donde se representa que está compuesto por el 50% de glucosa y 50% de fructosa.

Utilizando la Ec.7 se obtuvo las masas molares del sustrato (glucosa) y productos (etanol y CO_2), para poder determinar los moles de glucosa, etanol, y CO_2 .

El consumo de glucosa al transcurrir las 69 horas en el proceso de fermentación el consumo glucosa se muestra en la figura 7, donde se consumió 38.31kg de glucosa en esta etapa.

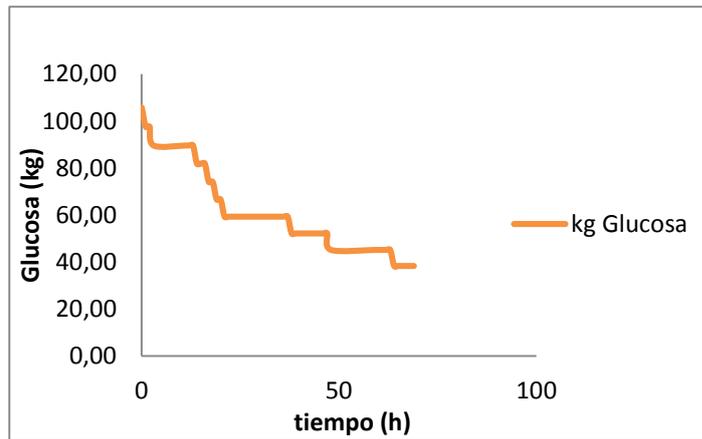


Figura 7.Consumo de glucosa en la etapa de fermentación

Fuente: Elaboración propia

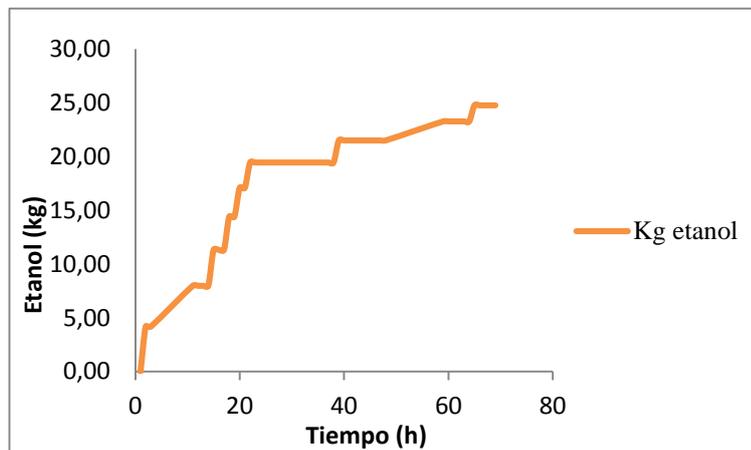


Figura 8.Producción del etanol

Fuente: Elaboración propia

En la producción de etanol se observa que al transcurrir 69 horas se muestra en la figura 8 se tuvo 24,75 kg de etanol por parada en la etapa de fermentación.

La producción de CO₂, se observa que al transcurrir 69 horas como se muestra en la figura 3 se obtiene 15.06 kg de CO₂ por parada en la etapa de fermentación.

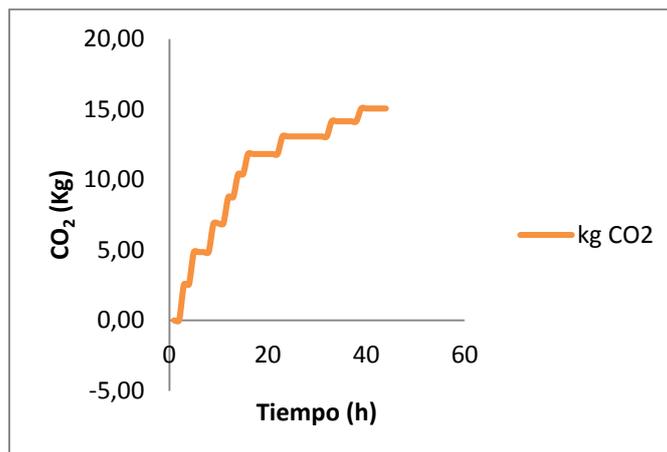


Figura 9.Producción de CO₂ en la etapa de fermentación.

Fuente: Elaboración propia

INDICADORES TÉCNICOS

Mediante la ecuación 8 se calculó la capacidad del fermentador la cual se obtuvo mediante las mediciones del mismo.

$$V = 1.07 \text{ cm}^2 * 1.07 \text{ cm}^2 * 1.07 \text{ cm}^2$$

$$V = 1225.04 \text{ cm}^3$$

Utilizando la ecuación 9 se calculó el rendimiento de los azúcares fermentables que se convierten en etanol, fue de 64%. Este valor está fuera del rango (98.81% y 97.94) obtenido por (Peña & Arango, 2009). Esto se debe a que los microorganismos crecen en un medio en presencia de oxígeno y no en ausencia de este. Estos microorganismos se comportan como facultativos y consumen parte de la glucosa para generar una costra que le permita lograr la ausencia de oxígeno que recomienda (Peña & Arango, 2009).

$$R = \frac{588,23 \text{ g} - 212,83 \text{ g}}{588,23 \text{ g}} * 100$$

$$R = 64\%$$

Mediante la ecuación 10 se logró calcular el tiempo de operación del fermentador, así se determinó las 69 horas que duró en proceso de fermentación.

$$T_{op} = T_{opsp} + t_p + t_{mp}$$

$$T_{op} = 69 \text{ horas}$$

INDICADORES ECONÓMICOS

Utilizando la ecuación 11 se calculó el valor agregado del etanol, son costos de ingresos en dólares de materiales y utilidades (Dimian & Bildea, 2008).

$$VA = USD\ 3888 - (USD\ 5760 - USD\ 73)$$

$$VA = USD\ 33.05$$

Mediante la ecuación 4 se calculó el costo unitario del etanol a partir de los costos de producción como se muestra en el anexo 1.

$$CU = \frac{13353\ USD}{12960\ L}$$

$$CU = 1.03\ USD/L$$

INDICADORES AMBIENTALES

Mediante la ecuación 12 se calculó el consumo de materia prima en la producción de etanol (Sikdar, 2003).

$$ICMP = \frac{2000\ kg}{1232.99\ kg}$$

$$ICMP = 1.62\ kg/kg$$

Según la ecuación 13 se calculó el vertimiento de CO₂ que se produce en la producción del etanol.

$$IGR = \frac{15,6\ kg}{1167.084\ kg}$$

$$IGR = 0.01\ kg/kg$$

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El proceso de fermentación en la destilería Adrianita se caracteriza por utilizar una fuente de inóculo permanente a partir de levaduras nativas adaptadas. El consumo de glucosa fue del 64%, y la producción fue de 90 L de etanol por cada dos toneladas de caña, sin descartar las cabezas y colas que contienen alcoholes ligeros y pesados.

La destilería Adrianita tiene una capacidad del fermentador de 1225.04 cm³, el rendimiento de la glucosa que se convierte en etanol es del 64%, el °Brix inicial es de 15, pH de 4.5 y temperatura 25 °C, llegando a un °Brix final de 6 y un pH de 2.7 y una temperatura de 27 °C. El tiempo de operación del fermentador es de 69 horas. Los datos calculados del valor agregado de la producción de etanol es de 33.05 \$, el costo unitario 1.03\$/L, teniendo una buena producción. Se calculó el consumo de materia prima en la producción de etanol es de 0.85 kg/kg y la cantidad de CO₂ que se produce en la fermentación es de 0.01 kg, esto cumplen con el rango de emisión de gases.

5.2. RECOMENDACIONES

1. Que se utilice los parámetros operacionales como °Brix, pH y temperatura en la etapa de fermentación.
2. Identificar y cuantificar el contenido de alcoholes superiores mediante espectrofotometría.
3. Que se defina un esquema de operación de la planta donde se incluya la limpieza de los equipos para evitar una posible contaminación en el proceso.

CAPÍTULO VI

6. BIBLIOGRAFÍA

- Cardona, C., Sánchez, Ó., Montoya, M., & Quintero, A. (2005). Simulación de los procesos de obtención de etanol a partir de caña de azúcar y maíz. *Scientia et Technica*, 28(11), 187-192.
- Castaño, S., & Garzón, C. (2009). *Estudio comparativo para la producción de etanol entre Saccharomyces cerevisiae silvestre, Saccharomyces cerevisiae ATCC 9763 y Candida utilis ATCC 9950*. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Química Industrial.
- Contreras, C. A., & Romero, M. C. (2015). Productos de la fermentación alcohólica; un beneficio para la salud. *Annals of microbiology*, 66(1), 187-195.
- Chaves, M. (2013). La caña de azúcar como materia prima para la producción de alcohol carburante. . *Memorias Seminario "Antecedentes y Capacidad Potencial de Cogenerar Energía y Producir Etanol por Parte del Sector Azucarero Costarricense"*. Irazú, 1-23.
- Chimbo, A., & Guerrero, P. (2015). *Efecto de la levadura (Saccharomyces cerevisiae) y la temperatura en la obtención de etanol a partir de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.)*. Universidad Estatal de Bolívar (Bachelor's thesis, Universidad Estatal de Bolívar, Guaranda.
- Díaz, D., Rodríguez, C., Flores, P., Angulo, C., Salvador, F., & Ruíz, A. (2011). Desarrollo de un inóculo con diferentes sustratos mediante fermentación sólida sumergida. *Revista electrónica de Veterinaria*, 1695, 7504.
- Dimian, A. C., & Bildea, C. S. (2008). *Chemical process design: computer-aided case studies*. Weinheim, Germany: John Wiley & Sons.
- Echeverry, N., Quintero, O., Ramírez, M., & Álvarez, H. (2004). Control de un bio-reactor para fermentación alcohólica en continuo. *CLCA*, 4, 1-6.
- Estrada, A., Garrido, N., Pérez, O., & Zumalacárregui, L. (2016). Alternativas tecnológicas para reducir el volumen de las vinazas de la industria alcoholera y su tratamiento. *Centro Azúcar*, 43(1), 70-79.
- Galindo, J. (2008). Comunicación, ciencia e historia: fuentes científicas históricas hacia una comunicología posible.
- García, R., Durán, M., & Riera, R. (2006). Producción de biomasa de Trichoderma harzianum por fermentación líquida. *Fitosanidad*, 10(4).
- Girón, G., & Funes, L. (2013). *Obtención de alcohol etílico por medio de fermentación alcohólica de las cáscaras de musa paradisíaca (plátano) utilizando como microorganismo productor saccharomyces cerevisiae (levadura)*. Universidad de El Salvador.
- Gómez, S. (2001). Producción de Invertasa por A, spergillus niger en Fermentación Líquida y Fermentación Sólida.
- Gonzalez, A., del Angel, J., Gonzalez, J., Rodriguez, N., & Vazquez, G. (2017). Evaluation of producing ethanol native yeasts present in sugar cane bagasse. *CienciaUAT*, 11(2), 80-92.
- Justo, M., García, L., Hernández, R., & Parra, L. (2001). Azúcares en agaves (Agave tequilana Weber) cultivados en el estado de Guanajuato. *Acta Universitaria*, 11(1), 33-38.
- Lauzurique, Y., Cárdenas, L., Pérez, O., & Molina, G. (2017). Evaluación de técnicas de deshidratación de etanol aplicando la simulación. *Dyna*, 84(200), 185-192.
- Machín, C., Garrido, N., & Rodríguez, A. (2016). Levadura Saccharomyces cerevisiae y la producción de alcohol. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 50(1), 20-28.

- Martínez, F., Gómez, A., & Avila, C. (2002). Volúmenes molales parciales de transferencia de algunas sulfonamidas desde el agua hasta la mezcla agua-etanol (X= 0.5). *Acta Farmacéutica Bonaerense*, 21(2), 107-118.
- Martínez, Y., González, V., Penin, E., & Suárez, E. (2013). Estudio preliminar de la mezcla agua-vinazasflemazas y su impacto en la etapa de fermentación en la producción de etanol. *Tecnología Química*, 33(3), 251-258.
- Mejía, I., & Castaño, H. (2008). Producción de etanol a partir de almidón de yuca utilizando la estrategia de proceso sacarificación- fermentación simultáneas (ssf). *Vitae*, 15(2), 251-258.
- Montoya, M., Quintero, J., Sánchez, O., & Cardona, C. (2005). Evaluación económica del proceso de obtención de alcohol carburante a partir de caña de azúcar y maíz *Revista Universidad EAFIT* (Vol. 41, pp. 76).
- Ojeda, E., & Cortón, R. (2007). Caracterización del líquido residual proveniente del mosto de desecho de la destilería de alcohol etílico. *Tecnología Química*, 21(2), 5-17.
- Ordóñez, I., Rivera, I., & Mejía, F. (2013). Propuesta de automatización de un proceso de producción de inóculo de levadura a escala industrial para producción de etanol. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 12(1), 40-48.
- Ortega, F., Pérez, O., & López, E. (2016). Modelo Semifísico de Base Fenomenológica del Proceso Continuo de Fermentación Alcohólica. *Información tecnológica*, 27(1), 21-32. doi: 10.4067/S0718-07642016000100004
- Otero, M. A., & Saura, G. (2005). Producción de etanol a partir de diferentes materias primas. Un análisis comparativo. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 39(2), 18-21.
- Peña, C., & Arango, R. (2009). Evaluación de la producción de etanol utilizando cepas recombinantes de *Saccharomyces cerevisiae* a partir de melaza de caña de azúcar. *Dyna*, 76(159), 153-161.
- Pérez, A. (2012). *Procedimiento metodológico para el diseño de procesos sostenibles de la agroindustria cubana* Universidad de Camagüey Cuba.
- Ribas, M., Hurtado, R., Garrido, N., Domenech, F., & Sabadí, R. (2011). Metodología para la modelación matemática de procesos. Caso de estudio, fermentación alcohólica. *CIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 41(1), 37-47.
- Rosa, A. (1996). Metodología para la Historia de la Psicología. *Alianza Editorial*, 42.
- Rosa, M., Peralta, J., & Bosco, D. (2010). Estimación de Parámetros Cinéticos de la Degradación Aeróbica de Efluentes Lácteos usando AQUASIM v 2.1 b. *Información tecnológica*, 21(3), 51-56.
- Rudd, D., & Watson, C. (1968). Strategy of process engineering. *Wiley*.
- Saura, G., García, R., Otero, M., Martínez, J., Bello, D., & Pérez, I. (2009). Experiencias en la producción de etanol a partir de jugos de caña mezclados. Parte I. Materias Primas. *Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 43(2), 42-46.
- Sikdar, S. K. (2003). Sustainable development and sustainability metrics. *AIChE journal*, 49(8), 1928-1932.
- Suárez, C., Garrido, N., & Guevara, A. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 50(1), 20-28.
- Suárez, E., & Valdés, J. (2014). Aspectos De La Estrategia De Procesos Para El Aprovechamiento De La Biomasa. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES*. doi: DOI: 10.13140/RG.2.1.3301.0325
- Taylor, F., Kurantz, M., Goldberg, N., & Craig, C. (1997). Effects of ethanol concentration and stripping temperature on continuous fermentation rate. *Applied microbiology and biotechnology*, 48(3), 311-316.
- Taylor, F., Kurantz, M., Goldberg, N., & Craig, J. (1998). Kinetics of continuous fermentation and stripping of ethan. *Biotechnology letters*, 20(1), 67-72.

- Trejos, V., Alzate, J., & Garcia, M. (2009). Descripción matemática y análisis de estabilidad de procesos fermentativos. *Dyna*, 76(158), 111-121.
- Vázquez, H., & Dacosta, O. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 8(4), 249-259.
- Zumalacárregui, L., Pérez, O., Lombardi, G., Rodríguez, P., & Zumalacárregui, B. (2008). Cálculo del beneficio ambiental de la caña de azúcar para la producción de etanol combustible. *Ingeniería y Competitividad*, 10(1), 65-71.
- Zurita, M. (2013). Elaboración de vino de frutas (Pitahaya *Hylocereus Triangularis* y Carambola *Averrhoa l.*) en 3 diferentes concentraciones de mosto y con 2 tipos de levaduras del género *saccharomices* (*S. Cereviceae* y *S. Ellipsoideus*). *Universidad Técnica de Cotopaxi, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales*.

ANEXOS

Anexo 1.Costos de producción

Descripción	Costo de producción (\$)
Materia prima	5760
Sueldos	7520
Suministros	73
Total CP.	13353
Costo unitario (L)	1,03
Precio de venta	3

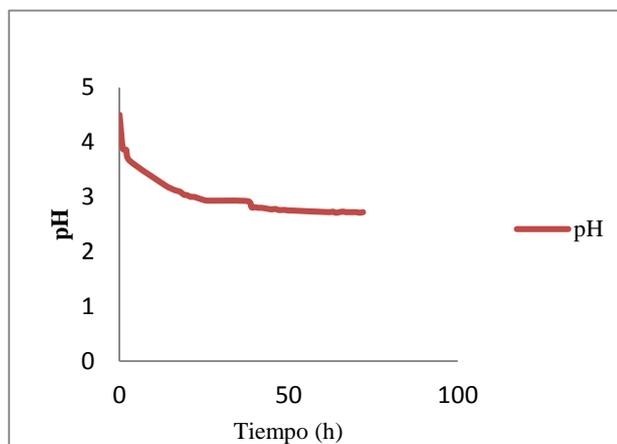
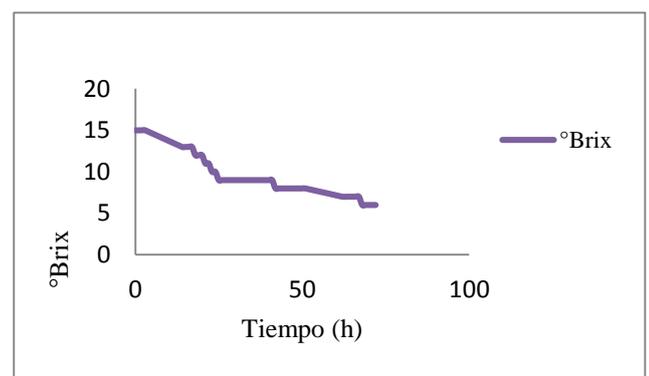
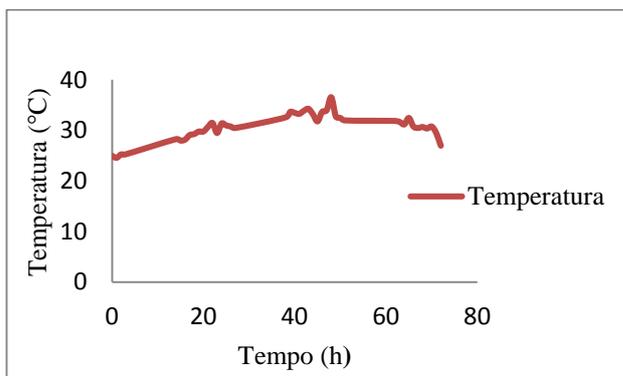
Anexo 1.Determinación de parámetros operacionales en la etapa de fermentación.

Tiempo (horas)	Horas	°Brix	pH	temperatura
0	17:00	15	4,5	25
1	18:00	15	3,88	24,6
2	19:00	15	3,86	25,3
3	20:00	15	3,66	25,3
11	7:00	13	3,19	28,3
12	8:00	13	3,16	28
13	9:00	13	3,13	28,2
14	10:00	13	3,11	29,1
15	11:00	12	3,09	29,3
16	12:00	12	3,04	29,8
17	13:00	12	3,03	29,8
18	14:00	11	3	30,7
19	15:00	11	3	31,5

20	16:00	10	2,98	29,5
21	17:00	10	2,96	31,4
22	18:00	9	3	31
23	19:00	9	2,93	30,8
24	20:00	9	2,93	30,5
35	7:00	9	2,92	32,6
36	8:00	9	2,81	33,7
37	9:00	9	2,81	33,5
38	10:00	9	2,8	33,3
39	11:00	8	2,8	33,9
40	12:00	8	2,79	34,3
41	13:00	8	2,78	33,2
42	14:00	8	2,77	31,8
43	15:00	8	2,78	33,7
44	16:00	8	2,76	34
45	17:00	8	2,76	36,6
46	18:00	8	2,76	32,8
47	19:00	8	2,75	32,5
48	20:00	8	2,75	32
59	7:00	7	2,72	31,9
60	8:00	7	2,73	31,7
61	9:00	7	2,71	31,2

62	10:00	7	2,72	32,5
63	11:00	7	2,73	30,8
64	12:00	7	2,72	30,5
65	13:00	6	2,72	30,7
66	14:00	6	2,72	30,4
67	15:00	6	2,72	30,8
68	16:00	6	2,71	29,5
69	17:00	6	2,72	27

Anexo 2.Resultados de los parámetros operacionales.



Anexo 3. Determinación de los parámetros operacionales

Tiempo	Brix	pH	T°C
0	15	4,11	26
1	15	3,95	27
2	14	3,94	24
3	14	3,81	25
4	13	3,75	23
5	13	3,68	23
9	13	3,32	23
10	12	3,25	24
11	12	3,23	23
12	12	3,20	25
13	12	3,19	23
14	11	3,18	33
15	11	3,17	31
16	11	3,12	32
17	11	3,12	32
18	11	3,11	33
19	11	3,07	33
20	11	3,08	31
21	11	3,05	33
22	10	3,04	34

23	10	3,03	32
24	10	3,02	32
33	9	3	34
34	9	2,95	35
35	9	2,93	35
36	9	2,93	35
37	9	2,92	35
38	9	2,98	34
39	9	2,91	34
40	9	2,88	34
41	9	2,88	34
42	9	2,91	34
43	9	2,88	34
44	9	2,88	34
45	9	2,87	33
46	8	2,86	33
47	8	2,85	33
48	8	2,84	33
57	8	2,83	33
58	8	2,82	33
59	7	2,81	34
60	7	2,82	33

61	7	2,82	33
62	7	2,82	34
63	7	2,82	34
64	7	2,82	32
65	7	2,83	33
66	7	2,81	33
67	7	2,81	33

Anexo 4. Composición de la glucosa en función del °Brix.

<i>Grados Brix</i>	<i>Densidad</i>	<i>Grados Béaumé</i>	<i>Gramos de azúcar por litro de agua</i>
1	1,0038	0,55	10,10
2	1,0077	1,10	20,41
3	1,0117	1,70	30,93
4	1,0157	2,20	41,67
5	1,0197	2,80	52,65
6	1,0237	3,30	63,85
7	1,0277	3	75,27
8	1,0318	4,40	86,96
9	1,0359	5	98,90
10	1,0401	5,55	111,11
11	1,0443	6,10	123,59
12	1,0485	6,70	136,56
13	1,0527	7,20	149,42
14	1,0570	7,80	162,79
15	1,0613	8,30	176,47
16	1,0656	8,90	190,48
17	1,0700	9,40	204,82
18	1,0744	10	219,51
19	1,0788	10,50	234,57
20	1,0832	11,10	250
21	1,0877	11,60	265,82
22	1,0923	12,20	282,05
23	1,0968	12,70	298,70
24	1,1014	13,30	315,79
25	1,1060	13,80	333,33
26	1,1107	14,35	351,35
27	1,1154	14,90	396,86
28	1,1201	11,40	388,89
29	1,1248	16	408,45
30	1,1296	16,50	418,57
31	1,1344	17,10	419,27
32	1,1393	17,60	470,59
33	1,1442	18,50	492,54
34	1,1491	18,70	515,15
35	1,1541	19,20	538,46
36	1,1591	19,80	572,50
37	1,1641	20,30	587,30

