

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“PARÁMETROS PARA EL INCREMENTO DEL RENDIMIENTO
DE LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS
DE CAFÉ POR FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

YULY SOLEDAD SALAZAR RODRIGUEZ

OSCAR ENRIQUE TITO NINA

CALLAO, 2021

PERÚ

Yuly Soledad Salazar Rodriguez
Oscar Enrique Tito Nina
Carmen Mabel Luna Chavez
CARMEN MABEL
LUNA CHAVEZ
INGENIERA QUÍMICA
Reg. CIP Nº 184678

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO

Jurado de Sustentación de Tesis:

Ing. Oscar Juan Rodríguez Taranco	:	Presidente
Ing. Ricardo Rodríguez Vilchez	:	Secretario
Ing. Victor Hugo Avalos Jacobo	:	Miembro
Ing. Carmen Mabel Luna Chávez	:	Asesora

Libro de acta N° 02

Folio N°137

Acta N° 320

Fecha de aprobación de la tesis: 08 de febrero del 2021

DEDICATORIA

Todo el trabajo y esfuerzo para la realización de este trabajo de investigación va dedicado a nuestros padres quienes nos apoyaron incondicionalmente en nuestra vida universitaria y contribuyeron enormemente en nuestra formación personal y profesional, y a Dios por hacer todo posible.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a todas las personas que nos apoyaron en este largo camino para cumplir nuestro gran sueño de obtener el título profesional de Ingenieros Químicos. En especial a la Ing. Mabel Luna, ya que nos guio y encaminó para hacer factible la realización de la presente investigación; al QF. Walter Tapia, quien nos facilitó el laboratorio de investigación para realizar nuestros ensayos, y a los profesores de la facultad de Ingeniería Química, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de nuestra preparación profesional.

ÍNDICE

ÍNDICE	1
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
I. 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. Problema Específico.....	14
1.3. Objetivos	14
1.3.1. Objetivo General	14
1.3.2. Objetivos Específicos	14
1.4. Limitantes de la investigación	15
1.4.1. Limitante teórico	15
1.4.2. Limitante temporal.....	15
1.4.3. Limitante tecnológico espacial	15
II. MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes	16
2.2. Bases Teóricas	18
2.2.1. Café.....	18
2.2.2. Biomasa.....	22
2.2.3. Pretratamiento de la biomasa	26
2.2.4. Etanol.....	28
2.2.5. Levaduras.....	30

2.2.6.	Fermentación alcohólica	33
2.2.7.	Destilación	34
2.2.8.	Cromatografía	36
2.3.	Conceptual.....	38
2.3.1.	Café	38
2.3.2.	Bioetanol a partir de material lignocelulósico	38
2.3.3.	Pretratamiento de la materia prima para producción de bioetanol	38
2.3.4.	Levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	41
2.3.5.	Fermentación alcohólica	41
2.3.6.	Destilación	41
2.4.	Definición de términos básicos.....	42
2.4.1.	Residuos de café.....	42
2.4.2.	Fermentación alcohólica	42
2.4.3.	Hidrólisis ácida.....	42
2.4.4.	Material lignocelulósico	42
2.4.5.	Azúcares reductores.....	42
2.4.6.	Rendimiento producto/sustrato	42
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	43
3.1.	Hipótesis	43
3.1.1.	Hipótesis General	43
3.1.2.	Hipótesis Específicas	43
3.2.	Definición conceptual de variables	43
3.3.	Operacionalización de variables	44
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO	45
4.1.	Tipo y diseño de Investigación	45

4.1.1.	Tipo de investigación.....	45
4.1.2.	Diseño de investigación.....	45
4.2.	Método de investigación.....	45
4.2.1.	Recolección y tratamiento del mucílago.....	45
4.2.2.	Recolección y tratamiento de la pulpa de café	46
4.2.3.	Tratamiento de la Mezcla de los residuos pretratados	48
4.2.4.	Fermentación y destilado de los productos	48
4.2.5.	Caracterización del producto.....	48
4.3.	Población y muestra.....	49
4.4.	Lugar de estudio y periodo desarrollado	49
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.	49
4.6.	Análisis y procesamiento de datos	50
V.	RESULTADOS.....	51
5.1.	Resultados descriptivos.....	51
5.1.1.	Caracterización del mucílago.....	51
5.1.2.	Caracterización de la pulpa de café.....	51
5.1.3.	Caracterización del jarabe glucosado.....	51
5.1.4.	Caracterización de la mezcla	52
5.1.5.	Concentración de etanol a partir de pulpa de café.....	52
5.1.5.1.	Concentración de etanol a partir de mucílago de café.....	56
5.1.6.	Concentración de etanol a partir de la mezcla de productos.....	59
5.1.7.	Incremento del rendimiento de la obtención de bioetanol según el residuo utilizado	62
5.2.	Datos Inferenciales.....	63
5.2.1.	Hipótesis específica 1.....	63

5.2.2. Hipótesis específica 2.....	67
5.2.3. Comparación del rendimiento con respecto al tipo de residuo.....	70
5.2.4. Hipótesis general.....	73
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	83
6.1. Contratación de la hipótesis con los resultados	83
6.1.1. Tiempo óptimo de fermentación.....	83
6.1.2. Concentración óptima de fermentación	83
6.1.3. Contratación de la hipótesis general.....	83
6.2. Contratación de los resultados con otros estudios similares	84
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
ANEXO	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Composición química de la pulpa de café (%)	21
Tabla 2	Composición química del mucílago de café	22
Tabla 3	Composición en peso algunos tipos de biomasa	26
Tabla 4	Propiedades físicas y termodinámicas del etanol	29
Tabla 5	Operacionalización de variables	44
Tabla 6	Masa de pulpa de café óptima para la hidrólisis ácida.....	47
Tabla 7	Caracterización del mucílago	51
Tabla 8	Caracterización de la pulpa de café	51
Tabla 9	Caracterización del jarabe glucosado	51
Tabla 10	Caracterización de la mezcla	52
Tabla 11	Etanol a partir de pulpa de café con 2% p/p de levadura.....	52
Tabla 12	Etanol a partir de jarabe glucosado con 4% p/p de levadura	53
Tabla 13	Etanol a partir de pulpa de café con 6% p/p de levadura	54
Tabla 14	Etanol a partir de mucílago de café con 2% p/p de levadura	56
Tabla 15	Etanol a partir de mucílago de café con 4% p/p de levadura	57
Tabla 16	Etanol a partir de mucílago de café con 6% p/p de levadura	58
Tabla 17	Etanol a partir de mezcla con 2% p/p de levadura	59
Tabla 18	Etanol a partir de mezcla con 4% p/p de levadura	60
Tabla 19	Etanol a partir de mezcla con 6% p/p de levadura	61
Tabla 20	Medias de % de etanol en función del tiempo de fermentación.	63
Tabla 21	Prueba de Levene según tiempos de fermentación	64
Tabla 22	ANOVA según tiempos de fermentación.....	64
Tabla 23	Análisis de Tukey según tiempo de fermentación.	65
Tabla 24	Subconjuntos homogéneos según tiempo de fermentación.....	65
Tabla 25	Medias de % de etanol en función del %p/p de levadura.....	67
Tabla 26	Prueba de Levene según el %p/p de levadura.....	67
Tabla 27	ANOVA según el %p/p de levadura	68
Tabla 28	Análisis de Tukey según el %p/p de levadura.....	68
Tabla 29	Subconjuntos homogéneos según el %p/p de levadura.....	69
Tabla 30	Medias en función a los tipos de residuos de café.....	70

Tabla 31	Prueba de Levene en función a los residuos de café.....	71
Tabla 32	ANOVA según tipo de residuo de café.....	71
Tabla 33	Análisis de Tukey según residuo de café.....	72
Tabla 34	Subconjuntos homogéneos según residuos de café.....	72
Tabla 35	Medias según %p/p de levadura y tiempo de fermentación.....	74
Tabla 36	Prueba de Levene según %p/p de levadura y tiempo.....	75
Tabla 37	ANOVA según %p/p de levadura y tiempo.....	75
Tabla 38	Análisis de Tukey según 2% p/p de levadura y 12h.....	75
Tabla 39	Análisis de Tukey según 2% p/p de levadura y 18h.....	76
Tabla 40	Análisis de Tukey según 2% p/p de levadura y 24h.....	76
Tabla 41	Análisis de Tukey según 2% p/p de levadura y 30h.....	77
Tabla 42	Análisis de Tukey según 4% p/p de levadura y 12h.....	77
Tabla 43	Análisis de Tukey según 4% p/p de levadura y 18h.....	78
Tabla 44	Análisis de Tukey según 4% p/p de levadura y 24h.....	78
Tabla 45	Análisis de Tukey según 4% p/p de levadura y 30h.....	79
Tabla 46	Análisis de Tukey según 6% p/p de levadura y 12h.....	79
Tabla 47	Análisis de Tukey según 6% p/p de levadura y 18h.....	80
Tabla 48	Análisis de Tukey según 6% p/p de levadura y 24h.....	80
Tabla 49	Análisis de Tukey según 6% p/p de levadura y 30h.....	81
Tabla 50	Subconjuntos homogéneos según %p/p de levadura y tiempo.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición de la biomasa lignocelulósica	23
Figura 2. Estructura de la celulosa	24
Figura 3. Estructura de una hemicelulosa	25
Figura 4. Destilación Batch	36
Figura 5. Componentes de un cromatógrafo	37
Figura 6. Pretratamiento de la pulpa de café	39
Figura 7. Pretratamientos para el mucílago de café	40
Figura 8. Pretratamiento de la mezcla de residuos	40
Figura 9. Proceso de fermentación alcohólica	41
Figura 10. Proceso de destilación	41
Figura 11. Etanol (%) a partir de jarabe glucosado y 2% p/p de levadura	53
Figura 12. Etanol (%) a partir de jarabe glucosado y 4% p/p de levadura	54
Figura 13. Etanol (%) a partir de jarabe glucosado y 6% p/p de levadura.	55
Figura 14. Etanol (%) a partir de mucílago de café y 2% p/p de levadura.	56
Figura 15. Etanol (%) a partir de mucílago de café y 4% p/p de levadura	57
Figura 16. Etanol(%) a partir de mucílago de café y 6% p/p de levadura.	58
Figura 17. Etanol (%) a partir de la mezcla con 2% p/p de levadura	59
Figura 18. Etanol (%) a partir de la mezcla y 4% p/p de levadura	60
Figura 19. Etanol (%) a partir de la mezcla con 6% p/p de levadura	61
Figura 20. Gráfica de las medias de % etanol según tiempo de fermentación. 66	
Figura 21. Gráfica % de etanol según el %p/p de levadura.	69
Figura 22. Gráfica de % de etanol según residuo utilizado.	73
Figura 23. Gráfica de % etanol según tiempo y %p/p levadura	82

RESUMEN

La actividad agropecuaria genera residuos orgánicos que causan graves daños al medioambiente debido a que no son aprovechados en su totalidad; tal es el caso de la pulpa y el mucílago del café, los cuales pueden ser aprovechados debido a la presencia de carbohidratos en su estructura los que pueden ser reducidos a azúcares simples y posteriormente pueden ser fermentados para dar como producto final bioetanol.

El presente trabajo se desarrolló con la finalidad de incrementar el rendimiento de obtención de bioetanol a partir de residuos de café (pulpa y mucílago) por fermentación alcohólica, utilizando distintas concentraciones de *Saccharomyces cerevisiae* (2%p/p, 4%p/p y 6%p/p), así como diferentes tiempos de fermentación (12h, 18h, 24h y 30h). Para ello se fermentó, independientemente el mucílago, el jarabe glucosado obtenido a partir de la hidrólisis de la pulpa de café y luego la mezcla de ambos productos.

El mucílago del café se recolectó luego de la fermentación natural del grano húmedo y se sometió a fermentación.

La pulpa proveniente del despulpado del café en el fondo, se trasladó al laboratorio para someterlo a secado, reducción de tamaño, tamizado y dos hidrólisis consecutivas, una básica con NaOH al 2% y otra ácida con ácido sulfúrico al 5%, obteniendo un jarabe glucosado que es el que se somete a fermentación.

Mientras que para la mezcla se utilizó la relación de 1:2 volumen jarabe glucosado/ mucílago y posterior fermentación.

Los parámetros de fermentación para los 3 casos (mucílago, jarabe glucosado y mezcla) fueron de 28 °C, velocidad de rotación de 200 rpm y pH =5; se utilizó la levadura *Saccharomyces cerevisiae* para llevar a cabo la fermentación, luego se sometió a una destilación simple a temperatura de 78°C. Finalmente se caracteriza el %etanol mediante cromatografía gaseosa.

Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó el software SSPS versión 25 y se determinó que el incremento del rendimiento de obtención de bioetanol a partir de residuos de café por fermentación alcohólica depende del tiempo y concentración de *Saccharomyces cerevisiae*, se obtuvo que el tiempo de fermentación óptimo para la obtención de bioetanol es de 30 horas y la concentración óptima de *Saccharomyces cerevisiae* es 4% p/p. Para estas condiciones el incremento del rendimiento de producción de bioetanol respecto al mucílago fue de 120.441%; mientras que el incremento en el rendimiento de producción de bioetanol respecto al jarabe glucosado fue de 387.193%.

Palabras clave: Bioetanol, residuos de café, fermentación alcohólica, rendimiento de la obtención de bioetanol.

ABSTRACT

The agricultural activity generates organic wastes that cause serious damage to the environment because they are not fully used; such is the case of the pulp and coffee mucilage, which can be exploited due to the presence of carbohydrates in its structure which can be reduced to simple sugars and can then be fermented to give bioethanol as a final product.

The present work was developed in order to increase the yield of obtaining bioethanol from coffee wastes (pulp and mucilage) by alcoholic fermentation, using different concentrations of *Saccharomyces cerevisiae* (2% w/w, 4% w/w and 6% w/w), as well as different fermentation times (12h, 18h, 24h and 30h). For this, the mucilage was fermented independently, the glucose syrup obtained from the hydrolysis of the coffee pulp and then the mixture of both products.

The coffee mucilage was collected after the natural fermentation of the wet bean and underwent fermentation.

The pulp from the pulping of the coffee in the estate, was transferred to the laboratory to undergo drying, size reduction, sieving and two consecutive hydrolysis, one basic with 2% NaOH and the other acidic with 5% sulfuric acid, obtaining a syrup glucose that is the one that undergoes fermentation.

While the ratio of 1: 2 volume glucose syrup / mucilage and then the fermentation was used for the mixture.

The fermentation parameters for the 3 cases (mucilage, glucose syrup and mixture) were 28°C, rotation speed of 200 rpm and pH = 5; *Saccharomyces cerevisiae* yeast was used to carry out the fermentation, then it was subjected to a simple distillation at a temperature of 78°C. Finally, the % ethanol is characterized by gas chromatography.

For the statistical analysis of the results, the SPSS version 25 software was used and it was determined that the increase in the yield of obtaining bioethanol from coffee residues by alcoholic fermentation depends on the time and concentration of *Saccharomyces cerevisiae*, it was obtained that the time of Optimal

fermentation for obtaining bioethanol is 30 hours and the optimal concentration of *Saccharomyces cerevisiae* is 4% w / w. For these conditions, the increase in bioethanol production yield with respect to mucilage was 120.441%; while the yield of bioethanol production with respect to glucose syrup was 387.193%.

Key words: Bioethanol, coffee residues, alcoholic fermentation, yield of obtaining bioethanol.

INTRODUCCIÓN

Históricamente el café es el primer producto agrícola peruano de exportación. El Perú posee aproximadamente 425416 hectáreas dedicadas al cultivo de café las cuales representan 6% del área agrícola nacional con un potencial de crecimiento de las áreas de cultivo alrededor de 2 millones de hectáreas. Las plantaciones de café están instaladas en 17 regiones, 67 provincias y 338 distritos (MINAGRI, 2015).

Esta actividad agropecuaria deja residuos orgánicos que son utilizados de diferentes formas como en alimento para animales, abonos naturales, fuente de energía, etc. Pero estos a su vez causan graves daños al medioambiente porque no son aprovechados en su totalidad, tal es el caso de la pulpa y del mucílago del café que representan una gran oportunidad para la generación de energía renovable debido al alto contenido de material lignocelulósico presente en la pulpa del café que puede ser reducido a azúcares y en el caso del mucílago debido a su contenido de azúcares libres los cuales pueden ser fermentados y dar como producto bioetanol.

La producción de bioetanol a partir de estos residuos agrícolas no solamente se presenta como una gran alternativa de mejora de la crisis energética ya que actualmente la mayor parte de las fuentes energéticas son del tipo no renovable si no que a su vez es una alternativa de cuidado del medio ambiente ya que estos residuos generalmente terminan siendo desechados y generan un impacto negativo en el ambiente ya que contaminan el suelo y el agua.

Por este motivo la presente investigación tiene como objetivo incrementar el rendimiento de obtención de bioetanol por fermentación alcohólica a partir de la unión del mucílago de café con el jarabe glucosado obtenido del pretratamiento de la pulpa de café y de esta manera dar valor agregado a los residuos generados de la actividad agrícola.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

El cultivo de café en Perú representa una oportunidad de crecimiento económico para las zonas cafetaleras, pero a su vez una amenaza al medio ambiente ya que no existe un plan para el manejo de los residuos que éste genera; terminando la mayoría de ellos en los ríos, quebradas y riachuelos o contaminando el suelo.

Solo el 5% del fruto del café es utilizado para la bebida y el 43.58% de los residuos corresponden a la pulpa del café y 14.85% al mucílago de café respecto al peso del fruto fresco, siendo precisamente éstos los que generan mayor contaminación. Sin embargo, estos residuos podrían dejar de ser un problema debido a su alto contenido en azúcares reductores convirtiéndose así en una excelente alternativa para la producción de bioetanol. La presencia de azúcares reductores en la pulpa es alrededor del 17% y 64% en el mucílago. (Rodríguez y Zambrano, 2010).

Existen estudios que evalúan el rendimiento de la producción de bioetanol utilizando la pulpa y el mucílago del café por separado, obteniendo un rendimiento poco atractivo con valores de 25.17 ml de etanol /1 kg de pulpa y de 58.37 ml de etanol/1 kg de mucílago (Rodríguez y Zambrano, 2010).

Para ello se quiere utilizar la mezcla de la pulpa y el mucílago del café con el fin de aumentar el rendimiento de la obtención del bioetanol y así motivar a la producción de bioetanol a partir de residuos que no compitan con la seguridad alimentaria. Haciéndose necesario el análisis de los parámetros que intervienen en la fermentación alcohólica.

La fermentación alcohólica puede realizarse con diversas cepas de levaduras. Sánchez y Cardona (2005) resaltan que la levadura de mayor uso para la producción de bioetanol es la *Saccharomyces cerevisiae* y es la cepa que se utilizará en este proyecto de investigación.

1.2. Formulación Del Problema

1.2.1. Problema General

- ¿Cómo incrementar el rendimiento de la obtención de bioetanol a partir de residuos de café por fermentación alcohólica?

1.2.2. Problema Específico

- ¿Cuál es el tiempo de fermentación al que se debe de someter los residuos de café para lograr el mayor rendimiento en obtención de bioetanol?
- ¿Cuál será la concentración de *Saccharomyces cerevisiae* adecuada para incrementar el mayor rendimiento en obtención de bioetanol a partir de residuos de café por fermentación alcohólica?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Determinar los parámetros para incremento del rendimiento de obtención de bioetanol a partir de residuos de café por fermentación alcohólica.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar el tiempo de fermentación al que se debe de someter los residuos de café para lograr el mayor rendimiento en obtención de bioetanol por fermentación alcohólica.
- Determinar la concentración de *Saccharomyces cerevisiae* adecuada para incrementar el mayor rendimiento en obtención de bioetanol a partir de residuos de café por fermentación alcohólica.

1.4. Limitantes de la investigación

1.4.1. Limitante teórico

El presente trabajo se basa en teoría sobre la obtención de bioetanol a partir de pulpa y mucílago de café por separado; la cual está enmarcada dentro de los bioprocesos, pretratamiento de la materia prima, fermentación, destilación y la caracterización del bioetanol obtenido.

1.4.2. Limitante temporal

El ciclo de café representó un limitante para la presente investigación ya que este no se encuentra disponible durante todo el año, el periodo de producción del café es de marzo a septiembre por lo cual durante este periodo se recolectaron los residuos de café en el anexo de Pampa Camona distrito de Pichanaqui provincia de Chanchamayo y departamento de Junín.

1.4.3. Limitante tecnológico espacial

Existe tecnología suficiente para llevar a cabo la producción y caracterización de bioetanol a partir de la pulpa y el mucílago de café, haciendo uso de la hidrólisis ácida, hidrólisis básica, equipos de destilación y la cromatografía de gases.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Tavares (2012) en su investigación “Produção de Etanol utilizando resíduos do Processamento Úmido do Café”, evaluó la producción de bioetanol a partir de la pulpa de café *Coffea arabica* con un pretratamiento alcalino. Para remover la lignina realizó un pretratamiento alcalino usando NaOH y Ca(OH)₂, con posterior hidrólisis enzimática. Se inoculó *Sachharomyces cerevisiae*, produciéndose la fermentación a un pH 4.8 a 8° Brix y finalmente realizó la destilación. Como resultado del pretratamiento utilizando NaOH 4% obtuvo un mejor rendimiento en un tiempo de 24 horas y una concentración de 25.63g etanol/L de jarabe glucosado de café al final de la fermentación.

Rodríguez (2013) en su investigación “Producción de alcohol a partir de la pulpa de café”, evaluó la producción de bioetanol a partir de la pulpa de café. La pulpa de café se obtuvo de 150 Kg de café cereza *Castillo Naranja*. Evaluó 25 tratamientos; cinco tipos de hidrólisis: natural, ácida, alcalina, enzimática con celulasas y enzimática con pectinasa, y cinco tipos de inóculo: natural, levaduras prensadas de dos tipos y levaduras secas de dos tipos. La unidad experimental fue de 500 g de pulpa de café. Los resultados más favorables fueron para los tratamientos con hidrólisis enzimática seguidos de la inoculación con levaduras comerciales: 22,12 ml de Etanol/(Kg de pulpa), y para tratamiento con procesos de autoclave para hidrólisis alcalina e inoculado con levaduras comerciales el rendimiento fue de 11,91 ml de Etanol/(Kg de pulpa) para el tratamiento de hidrólisis ácida de la pulpa de café trabajó con un promedio de 7.6°Brix y tiempo de fermentación de 15 h.

Funes et al. (2011) en su investigación “Producción de bioetanol a partir del mucílago de café *Coffea arabica*. L, evaluaron el desempeño y productividad más efectivo para la obtención de bioetanol a partir del mucílago del café. Evaluaron dos métodos de fermentación para el

mucílago: el método controlado, usando *Saccharomyces cerevisiae* y el método no controlado sin la inoculación de levadura. Siendo el método controlado el más óptimo para obtener bioetanol usando *Saccharomyces cerevisiae* al 2%, 4% y 6% (%p/p). Los resultados obtenidos del método controlado fueron de 1,4 ml de Etanol/800 ml de mucílago con 6% p/p de levadura; 0,6 ml de Etanol/800 ml de mucílago con 4% p/p de levadura y 0,8 ml de Etanol/800 ml de mucílago con 2% p/p de levadura a tiempo aproximado de 48 a 50 horas.

Rodríguez y Zambrano (2011) en su investigación “Producción de alcohol a partir del mucílago de café” evaluaron el método más efectivo para la obtención de bioetanol a partir del mucílago del café. El mucílago se obtuvo café cereza Colombia, se extrae el mucílago con un desmucilagador mecánico operado con 550 ml el agua/ min. Evaluaron la necesidad de un pretratamiento con hidrólisis: natural, ácida, básica y enzimática; y a su vez con diferentes tipos de inóculo: natural dos tipos de levaduras prensadas y una seca. Trabajaron con una unidad experimental de 1 litro de mucílago de 9.66°Brix, gravedad específica media de 1.18 y pH de 4.84. Los resultados que se obtuvieron no difieren apreciablemente para los diferentes tipos de hidrólisis y la posterior fermentación con las levaduras o enzima, para la fermentación natural se obtuvo 6.39 ml de etanol/(L de mucílago); siendo el mayor rendimiento la fermentación solo con levadura seca: 40.32 ml de Etanol/(L de mucílago) el tiempo de fermentación fue de 15h, la concentración para las levaduras prensadas fue de 2.5%p/v y 1%p/v para la levadura seca.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Café

Alarcón (2016) define al café como la semilla seca de la planta del cafeto sin importar que haya sido tostada o molida.

a. Taxonomía

El café pertenece a la familia de las Rubiáceas y al género *Coffea*. Existen numerosas especies de cafeto y diferentes variedades de cada especie. Las especies más importantes comercialmente pertenecientes al género *Coffea*. Se caracterizan por que sus hojas crecen de par en par, no tienen divisiones, los bordes son lisos, las flores son hermafroditas y cada fruto tiene dos semillas (Alarcón, 2016).

b. Morfología

El cafeto presenta raíz, por donde la planta toma el agua y los nutrientes necesarios para su crecimiento y producción; tallos y ramas; hojas, donde realizan los procesos de fotosíntesis, transpiración y respiración; flor, órgano destinado a reproducir las plantas. Las flores dan origen a los frutos; y la semilla que está compuesta por la almendra que es la parte dura y de color verdoso, cubierta por una película plateada que es el pergamino, el cual está cubierto por una capa azucarada que es el mucílago (Alvarado y Rojas, 2010).

c. Variedad de café en el mundo

El café es originario de África. Está constituido por más de 100 especies de la familia perteneciente al género *Coffea*, organizados en 4 variedades. Según su región y clima de origen se desarrollaron diferentes tipos de cafetos, con características genéticas diversas, ya sea la forma de la planta, tamaño y color de fruto, resistencia a enfermedades, tolerancia a plagas, sabor de bebida, adaptabilidad, productividad, entre otras.

Las variedades del café se dividen en 4 grupo: Arábica o Arábigo, Robustoide, Libérico e Híbrido o mixto.

-Grupo Arábica o Arábigo

Es el más numeroso de los cuatro grupos, los cafés más famosos en sabor y aroma pertenecen a este grupo. Su cultivo se halla muy extendido en los países de Centro América, en las Antillas y en las Islas Neerlandesas. Se caracterizan por tener hojas más pequeñas y menos gruesas que las de los cafés que constituyen al grupo libérico. Los arbustos son de menor tamaño que los que integran los grupos libérico y robustoide. La pulpa de los frutos de los arábigos es menos carnosa que la de los libéricos.

Las siguientes variedades de café pertenecen a este grupo: Coffea Arábica, Coffea Maragogípe, Coffea Erecta, Coffea Padang, Coffea Murta, Coffea Borbón, Coffea San Ramón, Coffea Columnaris, Coffea Moca, Coffea Botucatu y Coffea Catimor. (Distribuidores de café, 2017)

-Grupo Robustoide

Las características de este grupo son las siguientes:

- Las variedades que forman este grupo son cafetos de porte mayor que los arábigos, y menor que los libéricos.
- Los frutos de estos cafés son más chicos que los de los otros grupos. Estos una vez maduros, no se desprenden con tanta premura como ocurre con los del arábigo, por lo que es posible cultivarlo en una mayor variedad de terrenos.
- Los cafés de este grupo tienen un olor menos perfumado y una textura áspera.
- Las siguientes variedades de café pertenecen a este grupo: Coffea Robusta, Coffea Congensis, Coffea Canephora, Coffea Laurent, Coffea Quillou. (Ministerio de Economía y Finanzas de Panamá, 2012).

-Grupo Libérico

Los cafés que pertenecen a este grupo son procedentes de los alrededores de Monrovia, en Liberia; estos tienen las siguientes características:

- Son de mayor tamaño que los arábigos.
- Las variedades del grupo libérico son más resistentes a las enfermedades que afectan al cafeto arábigo.
- Su consumo no es muy extendido.
- Las siguientes variedades de café pertenecen a este grupo: Coffea Libérica, Coffea Dewevrie, Coffea Excelsa, Coffea Abeacutae, Coffea Dybowski. (Cortijo ,2017).

-Grupo Híbrido

Los híbridos forman parte del cuarto grupo de las variedades de cafés. Estos se fundamentan en la Genética. Por medio de la hibridación se obtiene, por cruzamiento, variedades puras y fijas que manifiestan caracteres constantes. Para lograr resultados positivos, sobre todo tratándose del cafeto, es necesaria la selección genealógica y para ello tomando como punto de partida semilla de una planta que sea producto de la hibridación primaria, y procurando que los elementos. Integrantes aportados por los dos cafetos que se cruzan, se encuentren estrechamente ligados, esto es, íntimamente asociados. Estos tienen el potencial de tener mejor calidad, resistencia a las enfermedades y gran productividad. (Muñoz ,2017).

d. Residuos del Café

Rodríguez y Zambrano (2010) afirman que durante el procesamiento del café solo se aprovecha aproximadamente un 5% el cual es consumido como bebida mientras que el resto queda como residuo. Estos residuos son biomasa lignocelulósica. Entre estos residuos destacan:

- **Pulpa de Café:**

Rodríguez y Cárdenas (2009) mencionan que la pulpa de café es la capa gruesa de células esponjosas la cual rodea el grano de café en el cafeto. Es también el primer subproducto obtenido en el procesamiento para el grano de café. Representa. En base húmeda. Alrededor del 43.58% del peso del fruto fresco.

Tabla 1
Composición química de la pulpa de café (%)

Variable medida	Unidad	Base seca	Base Húmeda
pH	-	-	4.21
Humedad	%	12.05	85.37
Sólidos soluble totales	°Brix	-	3
Azúcares	%	45.67	-
Reductores			
Fenoles totals	mg EAG g ⁻¹ pulpa	4.09	0.91
	μmol ETrolox g ⁻¹		
DPPH	pulpa	132.54	28.93
Cafeína	%	2.262	-
Proteína	%	10.63	9.04
Grasa	%	5.78	6.93
Fibra	%	36.07	30.63
Cenizas	%	9.58	-
Conductividad eléctrica	S/dm	7.88	-
Materia orgánica	%	92.11	-

Fuente: Fierro, Contreras, González, Rosas y Morales (2018)

- **Mucílago de Café**

Rodríguez y Zambrano (2010) sostienen que el mucílago es una estructura rica en azúcares y pectina la cual cubre el endospermo de la semilla del café. Su espesor mide aproximadamente 0.4mm. Se encuentra entre la pulpa y el grano de café. Es generado en la etapa del

desmucilaginado y en base húmeda representa alrededor del 14.85% del peso del fruto fresco.

Tabla 2

Composición química del mucílago de café

COMPONENTES	% (Promedio)
Cenizas	0.43
Proteínas	0.93
Lípidos	0.12
Carbohidratos	8.55
Ácidos (Láctico)	0.17
Alcohol (Etanol)	0.12

Fuente: Puerta y Ríos (2011)

-Cisno de Café: Es la cascarilla la cual forma parte del endocarpio del fruto de café.

-Tallos de Café: Son los restos del café provenientes de la práctica de zoqueo (corte del tallo a 30cm del suelo).

-Ripios y Café deteriorado: Son los restos obtenidos en el proceso de la trilla (descascarado o pelado en la cubierta del grano de café). Conformado por granos imperfectos. Almendras partidas y frutos pequeños.

2.2.2. Biomasa

Biomasa es la materia orgánica generada en procesos biológicos y ésta es utilizada para la producción de energía, combustibles, etc. La biomasa se puede dividir en dos grupos: la biomasa residual y la biomasa natural. Se habla de biomasa masa natural cuando la materia orgánica proviene del ecosistema y la masa residual es el resultado de la actividad del hombre.

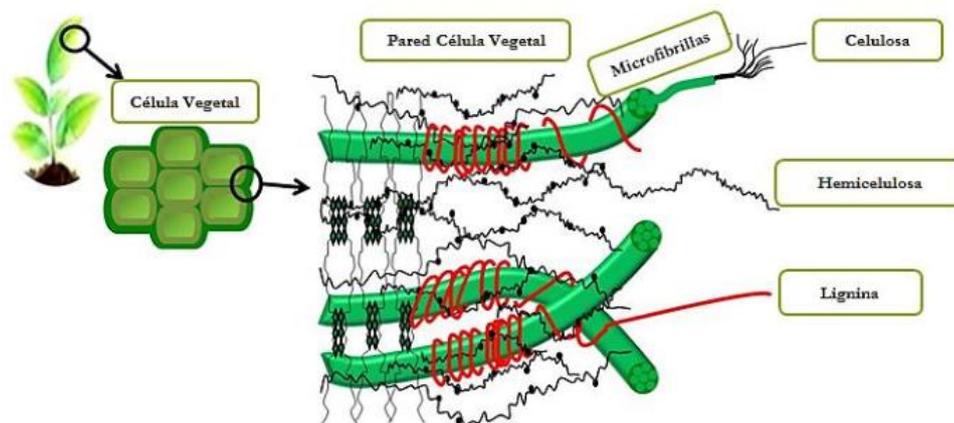


Figura 1. Composición de la biomasa lignocelulósica

Fuente: Gurdo (2016)

En la estructura de la biomasa lignocelulósica se tiene una lámina media que está formada básicamente por lignina a continuación se encuentra una pared principal formada por celulosa y hemicelulosa; y a continuación una serie de paredes secundarias que se diferencian en sus características físicas y químicas.

La biomasa lignocelulósica residual está constituida por dos polímeros de carbohidratos: la celulosa (35-50%), la hemicelulosa (15-25%) y un polímero fenólico la lignina (20-25%) (Tejada et al. ,2010).

Las propiedades químicas de sus componentes hacen de estas un sustrato de enorme valor biotecnológico; además que presentan una gran ventaja respecto a los sustratos tradicionales (caña de azúcar, remolacha y materiales amiláceos) ya que tienen amplia disponibilidad al ser generadas anualmente de 5 a 25 billones de toneladas generalmente como residuos de actividades agrícolas, forestales y agroindustriales. (Almenares y Serrat, 2008).

- Celulosa

Es el componente principal de las fibras de madera de las plantas, cáscaras de frutos, etc. Es insoluble en agua e insípida; y es un carbohidrato no reductor estas propiedades se deben a su elevado peso molecular. Es un polímero lineal de β -D-glucosa; las moléculas individuales de glucosas están unidas por enlaces β -(1-4). Cuando la molécula de celulosa está extendida con los grupos -OH sobresaliendo lateralmente se pueden formar puentes de hidrogeno inter e intramoleculares siendo ésta una de las razones por las que se forman supramoléculas. Esto se ha comprobado mediante el análisis con rayos X y la microscopia electrónica que además sugieren que los haces formados por los puentes de hidrogeno se tuercen entre si formando estructuras semejantes a cuerdas las cuales se agrupan formando las fibras que podemos ver. En el material lignocelulósico estas cuerdas se encajan en lignina generando estructuras que han sido comparadas con el concreto armado. (Morrison y Boyd, 1998).

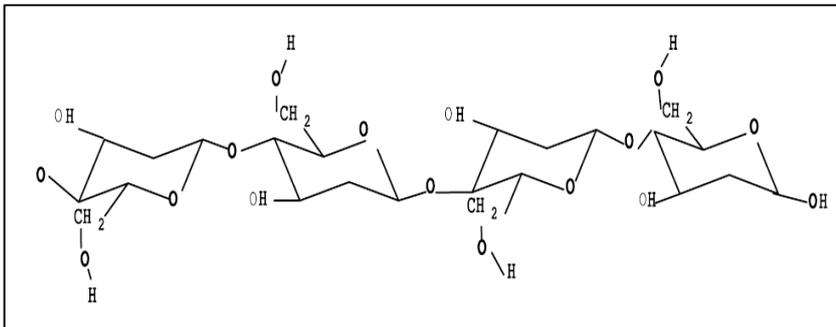


Figura 2. Estructura de la celulosa

Fuente: Tomas (2009)

Estas moléculas de gran tamaño se denominan protofibrillas las cuales se agrupan en otras todavía más largas conocidas como microfibrillas. Las regiones donde las microfibrillas están ordenadas se denominan regiones cristalinas y las regiones menos ordenadas amorfas es así que la celulosa es un polímero semicristalino. Estas características estructurales de las moléculas de celulosa condicionan el tratamiento a las que se someterá

el material como lo es la hidrólisis ácida; cuanto más ordenada (cristalina) es mucho más difícil de degradar. (Tomas, 2009)

- **Hemicelulosa**

La hemicelulosa también está presente en la pared celular de los residuos lignocelulosicos; está formada por polímeros compuestos por diversos tipos de azúcar como la D-xilosa (pentosas), L-arabinosa, D-manosa, D-galactosa, D-xilulosa (hexosas), etc., y por varios ácidos urónicos; como el ácido glucurónico y galacturónico. La hemicelulosa proporciona la unión entre la celulosa y la lignina. (Tomas, 2009)

La cadena principal de la hemicelulosa puede estar constituida en una sola unidad (homopolímero) como los xilanos o en dos o más unidades (heteropolímeros) como los glucomananos. La naturaleza ramificada de la hemicelulosa la hace amorfa y más fácil de hidrolizar que la celulosa. El contenido de hemicelulosa tanto por cantidad como por variedad difiere mucho en función de las especies. (Sebastián, 2010)

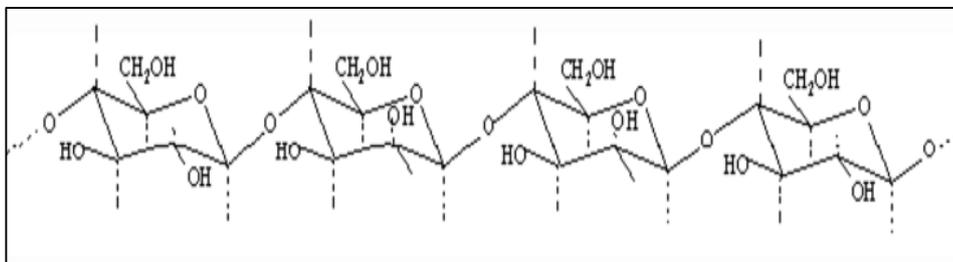


Figura 3. Estructura de una hemicelulosa.

Fuente: Tomas (2009)

- **Lignina**

Después de la celulosa es el polímero más abundante del mundo proporciona rigidez a la pared celular asegura la protección contra la humedad agentes atmosféricos, el ataque de microorganismos y actúa como elemento de unión de las fibras de celulosa. Químicamente es un polímero tridimensional amorfo constituido a partir de unidades de fenilpropano que se unen entre sí por enlaces tipo alquil-aril-eter o carbino-

carbono. Su contenido dependerá de las diferentes especies. (Sebastián, 2010)

Tabla 3

Composición en peso algunos tipos de biomasa

Biomasa	Lignina (%)	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)
Coníferas	27-30	35-40	25-30
Frondosas	20-25	45-50	20-25
Paja de trigo	15-20	45-50	20-25
Pasto	5-20	30-50	10-40

Fuente: Adaptado de Sebastián (2010)

- **Componentes minoritarios**

La biomasa lignocelulósica contiene otros productos que pese a estar presentes en menor proporción como los extractivos y las cenizas. Poseen gran influencia en las propiedades y procesos de conversión de la biomasa lignocelulósica. Los extractivos son componentes orgánicos de bajo peso molecular se llaman así porque se pueden extraer con agua o solventes orgánicos. Por ejemplo: terpenos, ácidos alifáticos y aromáticos, alcoholes, flavonoides, alcaloides, ligninas solubles, ceras, etc. Protegen la célula vegetal y reservan nutrientes. Las cenizas son la parte inorgánica del material. En su mayoría sales de calcio sodio magnesio y sílice. (Sebastián, 2010)

2.2.3. Pretratamiento de la biomasa

Secado

El término secado se refiere a la eliminación de la humedad en una sustancia; generalmente se considera al agua como humedad presente en sólidos. (Treybal, 1980). La humedad en base húmeda que se describe en función del porcentaje en peso humedad; es decir $\text{kg de humedad} \times 100 / (\text{kg de sólido seco} + \text{kg de humedad de humedad})$.

Reducción de tamaño

El termino reducción de tamaño se aplica a todas las formas en las que las partículas de solidos se pueden cortar o romper en piezas más pequeñas; en los procesos industriales la reducción de tamaño de solidos se lleva por distintos métodos y con fines diferentes. La reducción de tamaño aumenta la reactividad de los sólidos. Permite la separación por métodos mecánicos de ingredientes no deseados y reduce el tamaño de un material fibroso para su fácil tratamiento. (McCabe y Smith,2007)

Hidrólisis básica

Se da por la adición de bases diluidas a la biomasa y su eficiencia depende del contenido de lignina de los materiales. El hidróxido de sodio diluido produce un hinchamiento, permitiendo un incremento en el área de superficie interna reduciendo el grado de polimerización y cristalinidad de la celulosa, causando la separación de las uniones estructurales entre la lignina y los carbohidratos (Cuervo, Folch y Quiroz, 2009).

Estudios de pretratamientos reportan que cambios en la concentración de NaOH causan un efecto significativo sobre la remoción de lignina en distintos materiales lignocelulósicos (Reales y Castaño, 2016).

Hidrólisis ácida

Galbe y Zacchi (2002) lo definen como un proceso químico el cual mediante el uso de catalizadores ácidos se transforma las cadenas de polisacáridos que forman la biomasa (hemicelulosa y celulosa) en sus monómeros elementales. Este tipo de hidrólisis es factible empleando diferentes clases de ácidos como el ácido clorhídrico, sulfúrico, fosfórico, nítrico y fórmico. Sin embargo, solo los ácidos clorhídrico y sulfúrico han sido empleados a nivel industrial. Los procesos industriales que aplican la hidrólisis ácida se pueden agrupar en dos tipos:

Los que emplean ácidos concentrados: Los procesos que utilizan ácidos concentrados operan a temperaturas bajas. Obteniéndose altos

rendimientos de hidrólisis (los cuales son superiores al 90% de la glucosa potencial).

Los que utilizan ácidos diluidos: Los procesos que utilizan ácidos diluidos tienen como ventaja principal el relativamente bajo consumo de ácidos. No obstante. Se debe operar a temperaturas relativamente altas para alcanzar rendimientos aceptables de conversión de celulosa a glucosa. El rendimiento máximo en glucosa se consigue a altas temperaturas y tiempos de residencia cortos aproximadamente 60%. Las temperaturas en estos procesos originan mayor corrosión de los equipos empleados y por otro lado aumenta la tasa de degradación de los azúcares hemicelulósicos los cuales pueden afectar a la posterior etapa de fermentación.

2.2.4. Etanol

A. Características y propiedades del bioetanol

Es un líquido incoloro, también llamado alcohol etílico, volátil, de sabor picante y olor característico. Corresponde a la fórmula química $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$. Cuyo peso molecular es de 46.07g/mol, la composición de cada elemento es C: 52.24%; H: 13.13% Y O: 34.73%. (Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, s.f.)

Tabla 4
Propiedades físicas y termodinámicas del etanol

Propiedades	Valores
Punto de ebullición	78.3 °C
Índice de refracción(20°C)	1.361
Presión de vapor(20°C)	59 mmHg
Temperatura de ignición	363 °C
Punto de Congelación	-114.1°C
Calor específico (20°C)	2.4 J/g°C
Conductividad térmica(20°C)	0.17 W/Mk
Viscosidad(20°C)	1.17 cp
Solubilidad	Agua. Éter. Metanol. Cloroformo y acetona.

Fuente: Adaptado de

<https://quimica.unam.mx/wpcontent/uploads/2016/12/12etanol.pdf>

El etanol forma puentes de hidrógeno intermolecularmente entre el oxígeno del grupo hidroxilo y cualquiera de los hidrógenos de las cadenas de carbonos, lo cual permite al etanol estar en fase líquida a temperatura ambiente.

Gracias a la presencia de la cadena de carbonos en su molécula, el etanol es un líquido más volátil que el agua; por lo tanto, mediante un proceso de destilación se puede separar el etanol del agua. Adicionalmente, estos carbonos y sus hidrógenos asociados pueden reaccionar exotérmicamente con el oxígeno del aire para producir óxidos de carbono, estos son CO y CO₂; y vapor de agua, es decir el etanol es una sustancia combustible.

El etanol forma puentes de hidrógeno con el agua por lo que, al tratar de separar ambas sustancias mediante una destilación simple, se obtiene una

mezcla etanol-agua (mezcla azeótropo) inseparable por este método. La separación completa de ambas sustancias es realizada mediante una destilación azeotrópica y el filtrado molecular. (Álvarez, 2018)

El etanol producido a partir de materia lignocelulósico se denomina bioetanol de segunda generación; es una importante alternativa para la generación de energía renovable. El cual puede ser producido como etanol carburante o etanol oxigenante; el uso del bioetanol como oxigenante en gasolinas tiene varias ventajas como: mayor contenido de oxígeno, mayor octanaje, no es tóxico, reduce las emisiones de CO₂ y no contamina las fuentes de agua. (Sánchez y Cardona, 2005).

ARPEL (2009) menciona que el bioetanol puede obtenerse a partir de tres tipos de materias primas:

- Cultivos y materiales con alto contenido de sacarosa como la caña de azúcar, la remolacha azucarera, el sorgo y las melazas entre otros.
- Cultivos amiláceos con alto contenido de almidón tales como los cereales (maíz, sorgo granífero, trigo, cebada), raíces y tubérculos (mandioca, papa, etc.) o de inulina.
- Materias primas y cultivos con alto contenido de celulosa, lignocelulosa cuyos carbohidratos se encuentran en formas más complejas (maderas, Residuos agrícolas, cultivos lignocelulósicos, material herbáceo, etc.).

2.2.5. Levaduras

A. Características

Las levaduras pertenecen a un grupo diverso de hongos unicelulares en los cuales las fases sexuales de división celular se dan por fisión o gemación. Su estructura celular es de tipo eucariota, pero carece de sistema fotosintético, posee una pared rígida que se caracteriza por la presencia en su composición de dos polisacáridos: el manano y el glucano. El núcleo está rodeado de una membrana que persiste durante la división celular. El número de cromosomas es variable. Las levaduras poseen un papel muy importante en la producción y deterioro de los

alimentos, ya que intervienen en la fabricación de tres de los alimentos más comercializados: el pan, el vino y la cerveza. Las levaduras más utilizadas a nivel industrial son las que corresponden a los géneros *Saccharomyces*, *Candida* y *Kluyveromyces*, de las cuales *Saccharomyces* tiene más importancia comercial. (Arévalo, 1998)

B. Factores para el crecimiento de las levaduras

- Temperatura

La temperatura de crecimiento de las levaduras, generalmente, están comprendidas entre 5 y 37°C. El valor óptimo se sitúa hasta los 28°C. Estas temperaturas no son necesariamente las óptimas para el crecimiento de las levaduras cuando están en su hábitat. Por ejemplo, las levaduras que se encuentran en la superficie de las hojas, están expuestas a temperaturas máximas que comprenden los 40°C a 55°C bajo condiciones de luz intensa, y a temperaturas mínimas de 5°C a 10°C durante la noche. (Uribe, 2007)

- Presión Osmótica y Actividad de Agua

La mayor parte de las levaduras comúnmente encontradas crecen mejor en medios que disponen de gran cantidad de agua. Algunas levaduras son osmotolerantes y soportan una actividad de agua (A_w) del orden de 0.65 como es el caso de la levadura *Zygosaccharomyces rouxii*. (Uribe, 2007)

- Oxígeno

Todas las levaduras son aeróbicas, éstas crecen eficientemente a partir de carbohidratos del medio para producir la biomasa y CO_2 . A pesar de ello, cuando no hay oxígeno o hay disminución de este, las levaduras cambian a metabolismo anaerobio o fermentativo, que se traduce en la formación de menor cantidad de biomasa y producción de alcohol. (Uribe, 2007).

- pH

El pH óptimo para el crecimiento de las levaduras varía de 4,5 a 6,5 (Uribe, 2007)

- Nutrición

Las levaduras para su crecimiento necesitan fuentes de carbono orgánico y nitrógeno mineral u orgánico. Algunas además necesitan de varias vitaminas (tiamina, biotina, inositol, ácido pantoténico, etc.) y otros factores de crecimiento. El carbono es el compuesto mayoritario de la célula de levadura: alrededor del 50% del peso seco; a su vez los compuestos carbonados son utilizados por las levaduras como fuente de carbono y energía; el carbono se puede suministrar en forma de azúcares, aldehídos, sales de algunos ácidos orgánicos, glicerina o etanol y ocasionalmente, en otra forma dependiendo del tipo de levadura.

C. Uso industrial

La levadura es la encargada de los procesos de fermentación alcohólica, a partir de azúcares y en ausencia de oxígeno las levaduras generan alcohol, entre otros compuestos. Este proceso es de suma importancia para la producción de alimentos que consumimos diariamente: el vino, el pan y la cerveza.

La levadura es utilizada como alimento probiótico, también tanto para el uso en seres humanos como en animales. Al ser ingeridas, las levaduras desarrollan una acción altamente beneficiosa: favorecen el equilibrio de la flora intestinal, favorecen la sensación de bienestar, potencian el sistema inmunológico, mejoran el estado fisiológico y el tracto del sistema digestivo, etc. (Mejía, Montoya, Cortés y Saavedra, 2016)

También se usan las levaduras en la fertilización y protección de cultivos, permitiendo así la reducción el uso de fertilizantes y fitosanitarios de síntesis química en agricultura. Con ello se controla enfermedades de cultivo como hongos en los frutos. Otras levaduras mejoran la capacidad

de las plantas en el proceso de absorción de nutrientes del suelo, favoreciendo con ello su crecimiento y permitiendo mejorar los rendimientos agrícolas. Las levaduras son utilizadas como suplemento dietético, siendo atractivos en las dietas vegetarianas o situaciones de carencia de proteínas, enzimas, minerales como el zinc, cromo, selenio y vitaminas de los grupos B y D. El consumo de levaduras asegura una buena salud del cabello, uñas y piel. Para el rubro estético, son utilizados en las formulaciones para cremas anti-arrugas y anti-envejecimiento ya que favorecen procesos biológicos que afectan a la salud de nuestra piel como son la síntesis de colágeno o la hidratación y oxigenación de la piel. (D'Éramo, 2006)

Las levaduras son actualmente utilizadas para la producción de bioetanol, una nueva tecnología permite la utilización de levaduras especiales en la producción de bioetanol a partir de azúcares derivados de la degradación enzimática de la celulosa, permitiendo ampliar la utilización de un recurso abundante y renovable como la biomasa en la producción de energía. (Suárez, Garrido y Guevara, 2016).

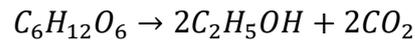
2.2.6. Fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica puede realizarse tanto aeróbica como anaeróbicamente.

Puerta (2010) define la fermentación alcohólica anaeróbica como un proceso catabólico de oxidación de sustancias orgánicas para producir otros compuestos orgánicos y energía. Los procesos de fermentación son realizados por levaduras y bacterias en ausencia de oxígeno en estas condiciones las levaduras fermentan los azúcares. Así la glucosa se convierte en ácido pirúvico y luego este se transforma en acetaldehído y finalmente este se convierte en etanol por medio de la enzima alcohol-deshidrogenasa. Los carbohidratos son los principales sustratos en fermentarse entre ellos están la glucosa, la fructuosa, la maltosa, la sacarosa y la lactosa. En la industria se realiza la fermentación con microorganismos específicos que se depositan en biorreactores para

producir alimentos. Medicamentos, bebidas alcohólicas, ácidos, alcoholes entre otros.

Vázquez y Dacosta (2007) mencionan que la fermentación alcohólica es una biorreacción que permite degradar azúcares en alcohol y dióxido de carbono. La conversión se representa mediante la ecuación:



Las principales responsables de esta transformación son las levaduras del tipo *Saccharomyces cerevisiae*. Del punto de vista estequiométrico la biorreacción parece sencilla. Sin embargo. Se trata de un proceso complejo ya que la levadura utiliza glucosa y nutrientes adicionales para reproducirse.

- **El rendimiento producto/sustrato:** se define como la cantidad de producto sintetizado por cantidad de sustrato consumido. Se representa como Y_p/s .
- **El rendimiento teórico estequiométrico** para que la glucosa se transforme en etanol es de 0.511g de etanol y 0.489g de CO_2 por 1g de glucosa. Gay Lussac fue el responsable de cuantificar dicho valor. Si se aplica en la realidad es difícil conseguir este rendimiento debido a que como se señaló anteriormente la levadura usa la glucosa para producir otros metabolitos.
- **El rendimiento experimental:** *varía* entre 90% y 95% del teórico. Es decir. De 0.469 a 0.485 g/g.

2.2.7. Destilación

La destilación es un método para separar los componentes de una solución depende de la distribución de las sustancias entre una fase gaseosa y una líquida y se aplica a los casos en que todos los componentes están presentes en las dos fases; la separación de componentes de una mezcla líquida depende de las diferencias en los puntos de ebullición de los componentes individuales. También, depende

de las concentraciones de los componentes presentes, la mezcla líquida tendrá características de punto de ebullición diferentes. Por consiguiente, los procesos de la destilación dependen de las características de presión de vapor de mezclas líquidas. (Calderón y Pinzón ,2007)

La destilación también se define como una operación de transferencia de masa directa ya que no es necesaria la adición de un componente extraño a la solución que deseamos separar para lograr su separación. La adición de calor es la que genera la segunda fase. Esta separación se da por diferencias de volatilidad relativa. Ambas fases contienen los mismos componentes, pero en cantidades diferentes en la fase vapor hay más concentración de los componentes más volátiles y los menos volátiles en el líquido. La operación de destilación se puede llevar a cabo en forma continua o discontinua en una sola etapa o en varias etapas a presión atmosférica o a presiones mayores al vacío. (Marcilla, 1998)

Los métodos que podemos mencionar para la destilación son: destilación en equilibrio o vaporización instantánea destilación batch o discontinua y destilación fraccionada o rectificación continua además de ello tenemos la destilación azeotrópica y la destilación extractiva entre otros. (Marcilla, 1998).

-Destilación batch

Es una operación discontinua la alimentación es cargada a la caldera donde se le suministra calor hasta llevarlo a su temperatura de burbuja, es decir hasta temperatura de ebullición. Este proceso se utiliza ampliamente en laboratorios y en las unidades pequeñas de producción, donde la misma unidad puede tener que servir para muchas mezclas. Cuando existen n componentes en el material de alimentación, será suficiente una columna por lotes, donde se requerirían $n-1$ columnas de destilaciones continuas simples. (Pinzón y Calderón ,2007)

Marcilla (1998) se dice que es discontinua por que la alimentación se da por lotes mientras que el vapor se va eliminando y condensando continuamente generándose a si el destilado. Tanto la composición del líquido como del vapor se van modificando continuamente y la temperatura de burbuja de la mezcla se va en aumento.

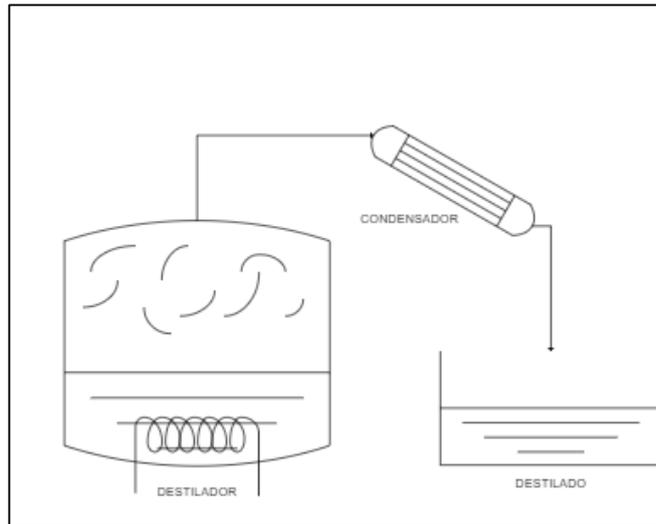


Figura 4. Destilación Batch

Fuente: Palacín, (2012)

2.2.8. Cromatografía

A. Definición

La cromatografía es un método de separación de los componentes de una muestra, dichos componentes son distribuidos entre dos fases, de las cuales una es estacionaria y la otra es móvil. La fase estacionaria puede ser sólida o líquida en el caso de ser un líquido éste está soportado en un sólido o en un gel. La muestra se desplaza en la fase móvil la cual puede ser un gas, un líquido o un fluido supercrítico, la fase móvil pasa a través de la fase estacionaria con la cual es inmisible la cual se fija a una columna o una superficie sólida como se mencionó anteriormente.

La separación de los componentes de la mezcla es posible debido a que las dos fases son elegidas de tal forma que estos componentes se distribuyen de manera diferente en cada una de ellas, los componentes que se mueven rápidamente en la fase móvil se unen levemente a la fase

estacionaria y los que son retenidos fuertemente en la fase estacionaria se mueven lentamente en la fase móvil. Como consecuencia de este comportamiento los componentes de la mezcla se separan en bandas o zonas discretas que pueden analizarse cualitativa y/o cuantitativamente.

B. Cromatografía de Gases

La cromatografía de gases es el método analítico de separación de mezclas de componentes orgánicos térmicamente estables e inorgánicos volátiles. La cromatografía gas líquido permite la separación por el reparto de una mezcla entre la fase móvil (gas inerte) la fase estacionaria (un líquido inmovilizado en un soporte sólido). La fase móvil debe de ser un gas inerte para prevenir su reacción con el analito o la columna y además debe de tener una alta pureza 99.9%. Los gases más utilizados son H₂, He, N₂ y Ar. (Mendizabal,2016).

La cromatografía de gases mide la variación de la concentración de las sustancias eluidas en el gas portador, y ofrece una señal eléctrica proporcional, fácilmente medible y registrable en función del tiempo la cual es registrada en los cromatogramas.

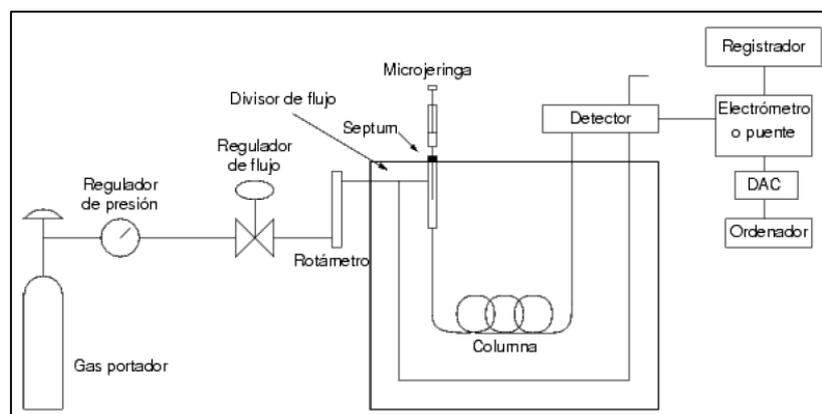


Figura 5. Componentes de un cromatógrafo

Fuente: Mendizabal, L.N (2016)

2.3. Conceptual

2.3.1. Café

La principal zona productora de café es el valle de Chanchamayo en el departamento de Junín. La especie *Coffea Arabica* es prácticamente la única que se cultiva en el país, siendo las variedades más comunes *Catimor*, *Caturra*, *Típica* y *Bourbon*. Para la presente investigación se ha trabajado con la variedad *Catimor* cosechada en el anexo de Pampa Camona, distrito de Pichanaqui provincia Chanchamayo, departamento de Junín.

2.3.2. Bioetanol a partir de material lignocelulósico

Se denomina bioetanol al etanol producido a partir de materia orgánica; tal es el caso del etanol lignocelulósico ya que su producción se da a partir de jarabes glucosados producidos en la hidrólisis de estas materias primas. Unas de las principales fuentes de estos jarabes glucosados son las cascaras de frutos que en su mayoría son considerados como biomasa desvalorizada. Las producciones del bioetanol a partir de estas materias primas dan lugar a varios procesos como lo son: la reducción de tamaño, remoción de lignina, hidrólisis ácida, fermentación y destilación.

Precisamente los residuos de café (pulpa y mucílago) corresponden tanto a un residuo agrícola lignocelulósico y el mucílago a un tipo de melaza; razón por la cual en el presente estudio se utilizará estos residuos simultáneamente.

2.3.3. Pretratamiento de la materia prima para producción de bioetanol

Para obtener el bioetanol a partir de los residuos de café existen diferentes métodos los cuales requieren de un tratamiento previo o de preparación del residuo antes de la fermentación. El objetivo principal del pretratamiento es la separación de los componentes básicos como lo son la celulosa, hemicelulosa y lignina. Además de modificar la estructura micro y macroscópico del material.

a. Pretratamientos para la pulpa de café

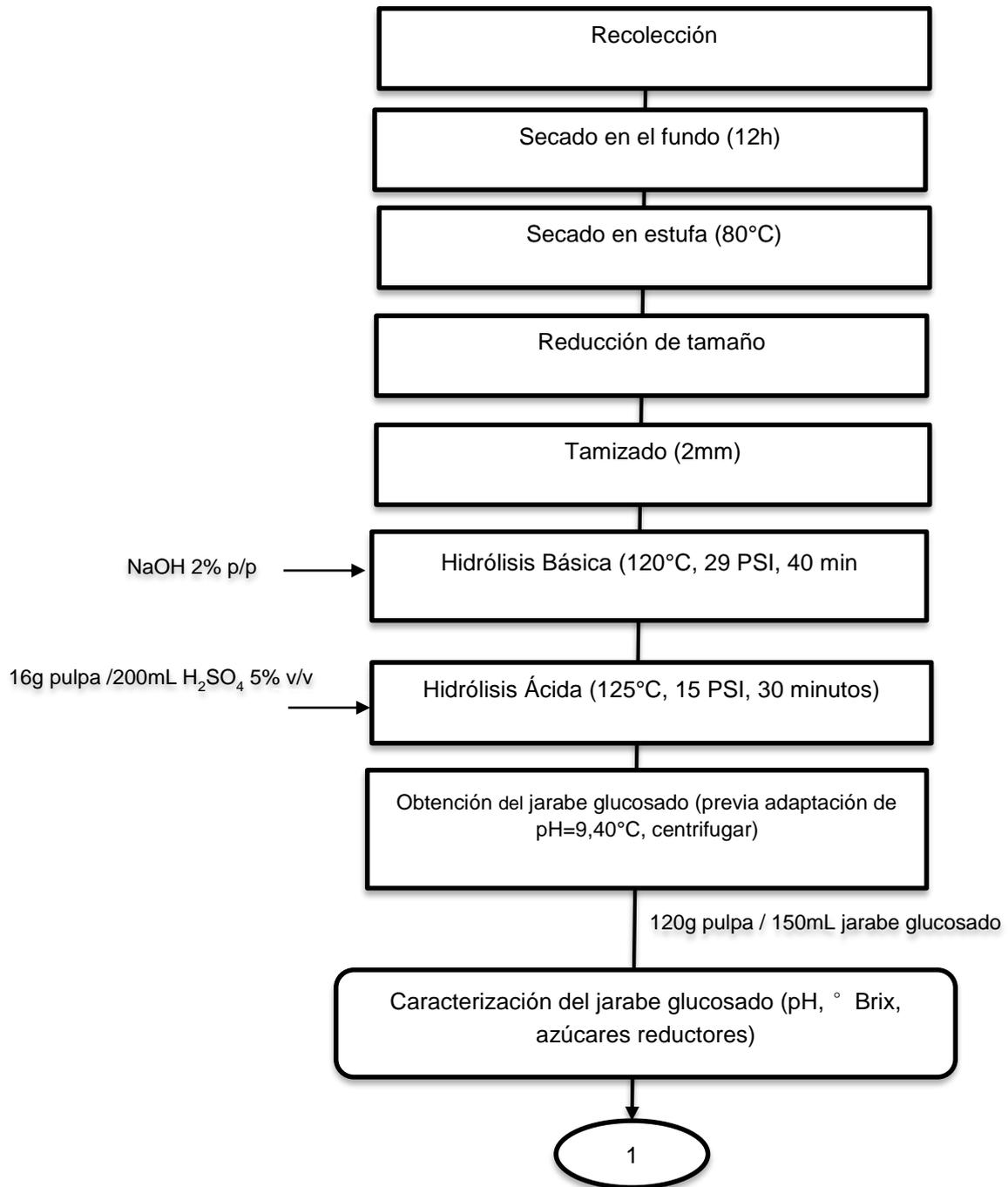


Figura 6. Pretratamiento de la pulpa de café

b. Pretratamientos para el mucílago de café

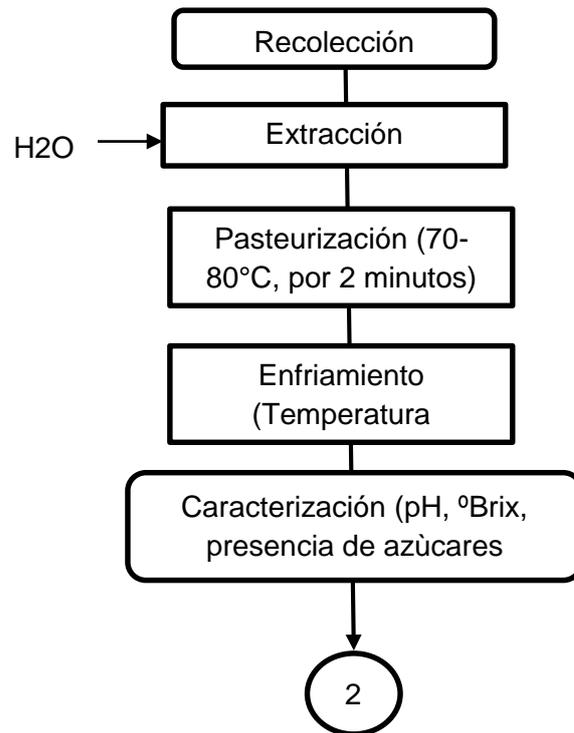


Figura 7. Pretratamientos para el mucílago de café

c. Pretratamiento de la mezcla de residuos

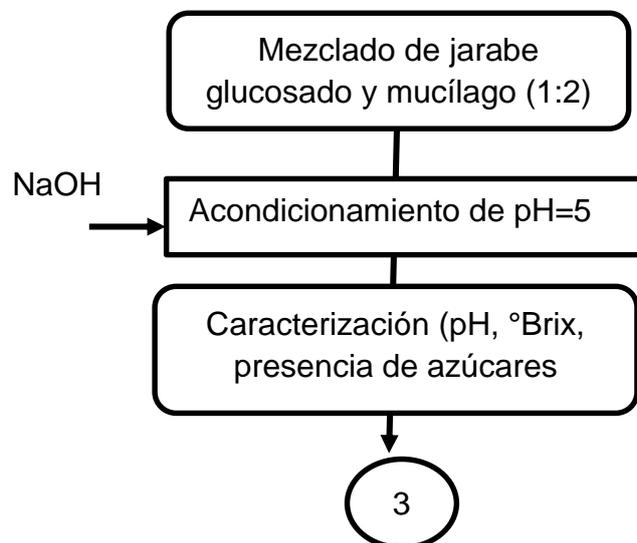


Figura 8. Pretratamiento de la mezcla de residuos

2.3.4. Levadura *Saccharomyces cerevisiae*

Estas levaduras fermentan a temperaturas de 15 a 30 °C, la *Saccharomyces cerevisiae* ha sido utilizada en la producción de alcohol con resultados efectivos. Las concentraciones utilizadas para la presente investigación fueron de 2%, 4% y 6% p/V.

2.3.5. Fermentación alcohólica

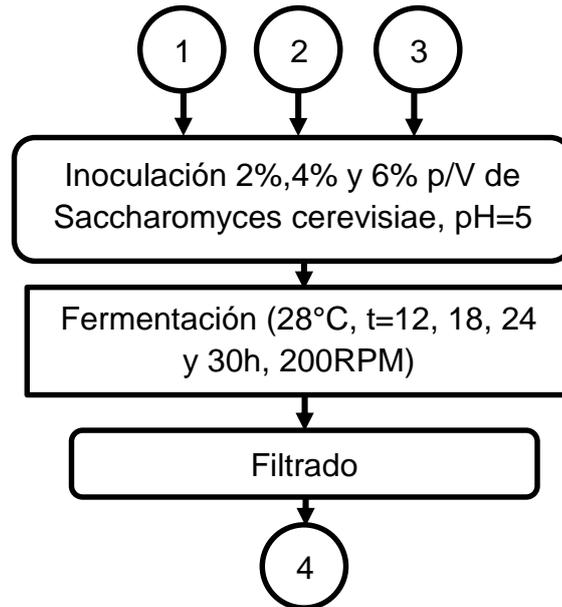


Figura 9. Proceso de fermentación alcohólica

Las entradas 1, 2 y 3 ingresan de manera independientes, no se mezclan.

2.3.6. Destilación

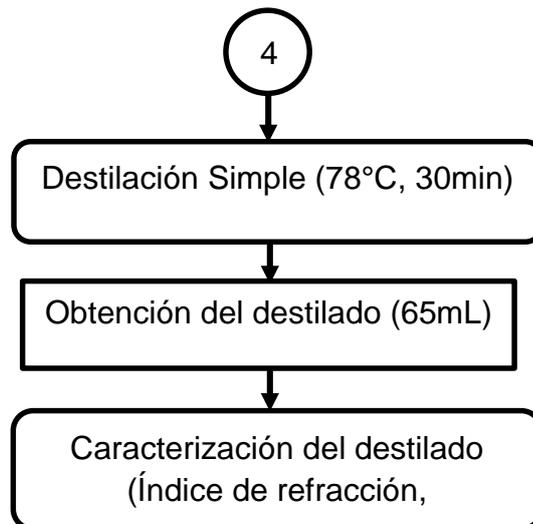


Figura 10. Proceso de destilación

2.4. Definición de términos básicos

2.4.1. Residuos de café

Son todas las partes del café que no son utilizadas en la preparación de la bebida y se desechan; para el caso en estudio se considerarán como residuos la pulpa y el mucílago.

2.4.2. Fermentación alcohólica

Es un bioproceso por el cual los azúcares reductores son convertidos a etanol y CO₂ por acción de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Para nuestra investigación se realizará en condiciones anaeróbicas.

2.4.3. Hidrólisis ácida

Es un proceso químico que emplea catalizadores ácidos. Transformando las cadenas de polisacáridos que forman la biomasa (hemicelulosa y celulosa) en sus monómeros elementales.

2.4.4. Material lignocelulósico

Es la biomasa producida por la fotosíntesis formada principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina.

2.4.5. Azúcares reductores

Los azúcares reductores son en su mayoría los monosacáridos como la glucosa. Xilosa, etc.

2.4.6. Rendimiento producto/sustrato

Es la cantidad de producto sintetizado por cantidad de sustrato consumido (Y_p/s).

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

El incremento del rendimiento de obtención de bioetanol a partir de residuos de café por fermentación alcohólica dependerá del tiempo y concentración de *Saccharomyces cerevisiae*.

3.1.2. Hipótesis Específicas

- El tiempo óptimo de fermentación será de 24 horas.
- La concentración óptima de *Saccharomyces cerevisiae* será de 4 %p/p.
- La comparación de los resultados del rendimiento de obtención de bioetanol tanto por mucílago y pulpa de café respecto a la unión de ambos nos indica un aumento en el rendimiento.

3.2. Definición conceptual de variables

3. Variable Dependiente

Y: Rendimiento de la obtención de bioetanol a partir de residuos de café por fermentación alcohólica.

4. Variables Independientes (variable respuesta)

X₁: Concentración de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

X₂: Tiempo de fermentación.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 5

Operacionalización de variables

Operacionalización de variables					
	Variabes	Definición de variables	Dimensiones	Indicadores	Métodos
Variable Dependiente	Y= Rendimiento de la obtención de bioetanol a partir de residuos de café por fermentación alcohólica	Es el rendimiento de la obtención de bioetanol respecto a los residuos del café	Rendimiento	% Rendimiento Producto Sustrato (Y_p/s)	Cuantitativo operacional
			Caracterización del bioetanol	%Etanol	Instrumental
Variables Independientes	X ₁ =Tiempo de fermentación	Es el tiempo que se dará para el proceso de fermentación	Tiempo de fermentación (horas)	t ₂ =12h t ₃ =18h t ₄ =24h t ₅ =30h	Instrumental
			Concentración de la levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (g/g)	C ₁ =2% p/p C ₂ =4% p/p C ₃ =6% p/p	Cuantitativo

Elaboración Propia

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y diseño de Investigación

4.1.1. Tipo de investigación

Se trata de una investigación aplicada, ya que se pretende utilizar conocimientos y tecnologías para mejorar rendimientos de un proceso (CONCYTEC, 2018). Por su nivel es explicativa, ya que busca el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto y por el tratamiento de datos es cuantitativo, ya que se apoyan en las pruebas estadísticas tradicionales (Alfaro ,2012).

4.1.2. Diseño de investigación

La investigación se realizó aplicando el diseño experimental de tipo bifactorial combinatorio. Los factores en estudio presentan cuatro niveles en el caso de tiempo de fermentación y tres niveles con respecto a la concentración de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*: El número de unidades experimentales mínimos es de 12 (tanto para el tratamiento con la pulpa, mucílago y la mezcla de ambos); es decir se tendrá 36 tratamientos con 3 réplicas.

4.2. Método de investigación

4.2.1. Recolección y tratamiento del mucílago

- Extracción

Una vez recolectado el grano húmedo de café (luego de su fermentación natural), se lavó con agua corriente quedando el mucílago en el agua.

- Pasteurización

El mucílago extraído se pasteurizó a 70-80°C por dos minutos con la finalidad de disminuir la carga microbiana según lo reportado por Funes et al. (2011). Finalmente se dejó enfriar hasta temperatura ambiente y se ponen en matraces de 250 ml. Una vez realizada la pasteurización se

procedió a enfriar y caracterizar el mucílago. Se realizó la medición de pH y de grados Brix y se verificó la presencia de azúcares reductores.

- **Caracterización del mucílago**

Presencia de azúcares reductores en el mucílago

La presencia de azúcares reductores se determinó cualitativamente haciendo uso del reactivo Fehling.

4.2.2. Recolección y tratamiento de la pulpa de café

- **Secado en fundo**

Una vez recolectada la pulpa de café se procedió a secarla por exposición al sol por 12h para prevenir el crecimiento de microorganismos que aceleren la descomposición de la materia prima.

- **Secado en laboratorio**

En la estufa a 180 °C y hasta humedad constante.

- **Reducción de tamaño**

Con la finalidad de aumentar la superficie de contacto entre la pulpa y los reactivos, se redujo el tamaño de partícula hasta 2mm y se procedió a tamizarla.

- **Hidrólisis básica o deslignificación de la pulpa de café**

La hidrólisis básica se llevó a cabo en una autoclave, se utilizó una solución de NaOH al 2%p/V a 120°C, 200 Kpa (29 psi), 40 minutos y relación solido liquido 1:15. Al finalizar el tiempo se agregó sulfato de calcio y se dejó reposar por un periodo de tres horas terminando con la decantación y separación de la parte solida del licor negro, la cual se desechó. La parte sólida (pulpa de café molida) se lavó hasta lograr un pH neutro.

- Hidrólisis ácida

Para determinar la relación óptima de pulpa de café a utilizar con un volumen de 200 mL de ácido sulfúrico al 5% se hicieron las siguientes mediciones de °Brix:

Tabla 6

Masa de pulpa de café óptima para la hidrólisis ácida.

Corrida	g-Pulpa de café	ml-H ₂ SO ₄ (5%v/v)	°Brix
1	10	200	15.8
2	12	200	17.3
3	14	200	19.8
4	16	200	22.0
5	20	200	22.4

Elaboración Propia

La hidrólisis ácida se llevó a cabo en una autoclave, utilizando 16g de pulpa de café pretratado, 200ml de H₂SO₄ 5%v/v, tiempo de 30min, 125°C y 15 psi. Se procedió a filtrar para separar el jarabe glucosado, se adecuó el ph 9-10, se eleva la temperatura a 40°C por 30 minuto, se centrifugó para separar la parte solida precipitada con el fin de reducir los inhibidores de la fermentación.

Se utilizó 120 g de pulpa de café pretratado para 150ml de jarabe glucosado, debido a que durante el filtrado se recupera el 10% de H₂SO₄ utilizado.

- Caracterización del jarabe glucosado

La presencia de azúcares reductores se comprobó mediante el reactivo de Fehling, se midió los °Brix, los cuales deben ser mayores a 12° Brix,

4.2.3. Tratamiento de la Mezcla de los residuos pretratados

Se mezcló el jarabe glucosado con el mucílago pretratado utilizando la relación de 1:2 volumen/volumen (50ml de jarabe glucosado con 100 ml de mucilago de café). Esto hace un volumen de 150 mL (tamaño muestral). Finalmente, se acondicionó el pH a 5 con una solución de NaOH 5N.

4.2.4. Fermentación y destilado de los productos

La fermentación se llevó a cabo en el equipo de baño maría con agitación, adecuando las muestras (150mL) en matraces de Erlenmeyer herméticos a condiciones de 28 °C, una velocidad de rotación de 200 rpm y pH 5.

Este proceso se repitió para el mucílago pasteurizado, jarabe glucosado y para la mezcla de mucílago y jarabe glucosado.

- Inoculación

Se inoculó *Saccharomyce cerevisae* en tres concentraciones diferentes: 2% p/p, 4% p/p y 6% p/p. Disolviendo la concentración de levadura en una pequeña porción del medio, elevando la temperatura para activar las levaduras y posteriormente, se agrega al volumen total del medio.

- Destilado

Finalizando los tiempos correspondientes de destilación, en cada caso las muestras se llevaron a destilación simple a temperaturas de 78°C.

4.2.5. Caracterización del producto

El producto obtenido en todos los casos presentó olor característico de etanol. El alcohol se almacenó en tubos de ensayos herméticos para su cuantificación por cromatografía de gases.

4.3. Población y muestra

El criterio de población y muestra no es aplicable a la presente investigación.

Se tomó como unidad experimental 150 mL tanto para las fermentaciones de mucílago, jarabe glucosado y mezcla de mucílago y jarabe glucosado, debido a la limitante de producción de jarabe glucosado a partir de la pulpa de café ya que es un proceso con bajo porcentaje de recuperación de jarabe (10%) y de alto consumo energético; además de ser factible la destilación con esta unidad experimental.

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

Las etapas de pretratamientos de los residuos de café se llevaron a cabo en las instalaciones de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química y en el Instituto de Investigación de Especialización en Agroindustria en el periodo de abril a junio del 2019, la hidrólisis ácida y básica de la cáscara de café se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales en julio 2019, así mismo la caracterización del bioetanol obtenido se realizó en el laboratorio USAQ de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos en febrero del 2020.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.

Las muestras de bioetanol resultado de la destilación fueron depositadas en tubos de ensayo con tapa hermética y fueron almacenadas y refrigeradas a 5°C para su posterior caracterización por cromatografía gaseosa.

Los instrumentos utilizados

- Autoclave (Marca American Portable de capacidad 15L).
- Baño maría con agitación (Marca SALVIS – AG 6015)
- Refractómetro (Marca RELES de 0 a 85% BRIX)
- Centrífuga (GREETMED, Modelo:800D, Temporizado: 0 a 30minutos, Regulación de velocidad: 500RPM)

- Estufa esterilizadora (Marca Memmert de 20°C a 250°C).
- Balanza de humedad (Marca H. W. Kessel S.A. Modelo Mx-50, especificación 0.01%/Máximo 51g).
- Balanza Analítica (Marca H. W. Kessel SA, Modelo: GR-200, especificación Máx: 210g, Mín: 10mg, e=1mg, d=0.1mg).
- Matraces de Erlenmeyer de 250mL.
- Equipo de destilación: Balón. Serpentin para intercambiador de calor.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

Se realizó el análisis de homogeneidad de varianzas utilizando la prueba de Levene y ANOVA para determinar si existen diferencias significativas entre las medias de obtención de etanol para los grupos de tiempo de fermentación, concentración de levadura y entre los grupos de residuos de café.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

5.1.1. Caracterización del mucílago

Tabla 7

Caracterización del mucílago

Propiedades	Resultado
pH Promedio	3.83
°Brix Promedio	12.5 °Brix
Densidad	1.2 g/ml

5.1.2. Caracterización de la pulpa de café

Tabla 8

Caracterización de la pulpa de café

Propiedades	Resultado
Humedad inicial	84%
promedio	
Humedad final	13.5%
promedio	

5.1.3. Caracterización del jarabe glucosado

Tabla 9

Caracterización del jarabe glucosado

Propiedades	Resultado
°Brix Promedio	22°Brix
Densidad promedio	1.33 g/ml

5.1.4. Caracterización de la mezcla

Tabla 10
Caracterización de la mezcla

Propiedades	Resultado
°Brix Promedio	15.2°Brix
Densidad promedio	1.15 g/ml

5.1.5. Concentración de etanol a partir de pulpa de café

Para analizar el porcentaje de alcohol obtenido en cada corrida se realizó la caracterización por cromatografía de gases, donde se obtiene directamente los valores de los %Etanol.

A continuación, se muestran los resultados de las corridas realizadas para la fermentación pulpa de café de diferentes tiempos y concentraciones.

Tabla 11
Etanol a partir de pulpa de café con 2% p/p de levadura

Tiempo de fermentación	I Corrida %Etanol	II Corrida %Etanol	III Corrida %Etanol	Promedio %Etanol
12	0.000	0.000	0.000	0.000
18	1.278	1.302	1.800	1.305
24	3.060	3.130	3.050	3.080
30	3.000	3.086	3.251	3.112

Datos de concentración de etanol obtenidos a partir de la cromatografía de gases, para 150 ml de jarabe glucosado inoculados con *Saccharomyces cerevisiae* 2% p/p.

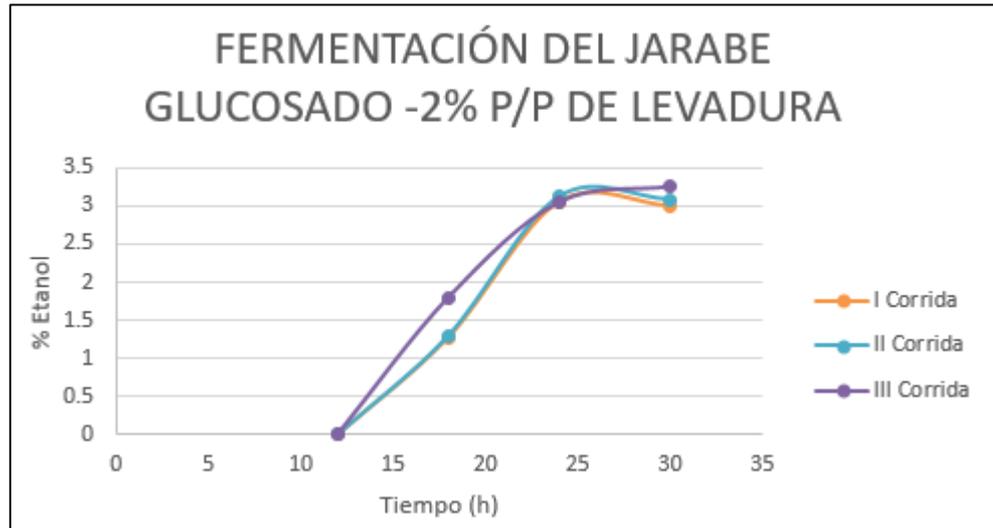


Figura 11. Etanol (%) a partir de jarabe glucosado y 2% p/p de levadura

Tabla 12

Etanol a partir de jarabe glucosado con 4% p/p de levadura

Tiempo de Fermentación	I Corrida %Etanol	II Corrida % Etanol	III Corrida % Etanol	Promedio % Etanol
12	0.910	0.905	0.900	0.905
18	1.956	1.943	1.915	1.938
24	2.398	2.44	2.416	2.418
30	4.226	4.146	4.258	4.210

Datos de concentración de etanol obtenidos a partir de la cromatografía de gases, para 150 ml el jarabe de pulpa de café inoculados con *Saccharomyces cerevisiae* 4% p/p.

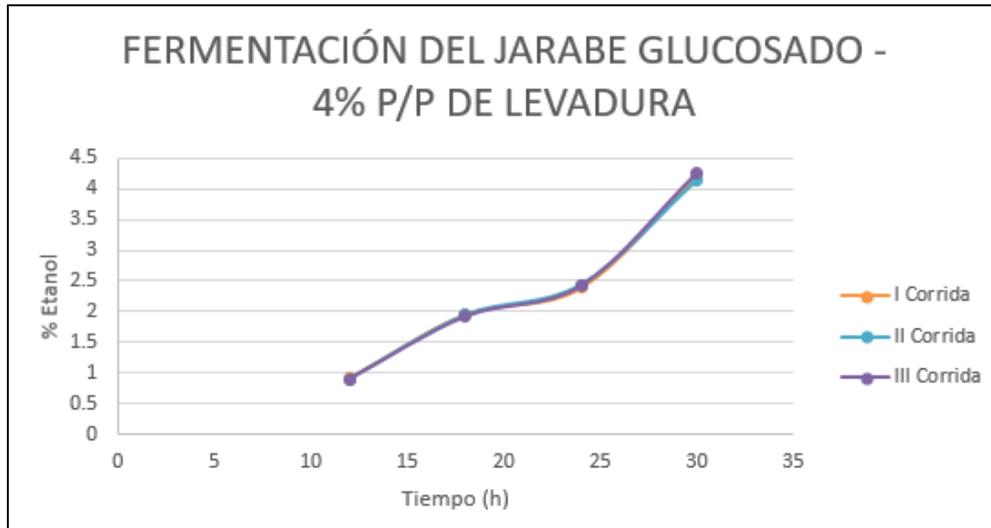


Figura 12. Etanol (%) a partir de jarabe glucosado y 4% p/p de levadura

Tabla 13

Etanol a partir de pulpa de café con 6% p/p de levadura

Tiempo De Fermentación	I Corrida %Etanol	II Corrida %Etanol	III Corrida %Etanol	Promedio % Etanol
12	0.000	0.079	0.035	0.038
18	1.265	1.220	1.310	1.265
24	1.621	1.417	1.534	1.524
30	4.950	4.945	5.000	4.965

Datos de concentración de etanol obtenidos a partir de la cromatografía de gases, para 150 ml el jarabe de pulpa de café inoculados con *Saccharomyces cerevisiae* 6% p/p.

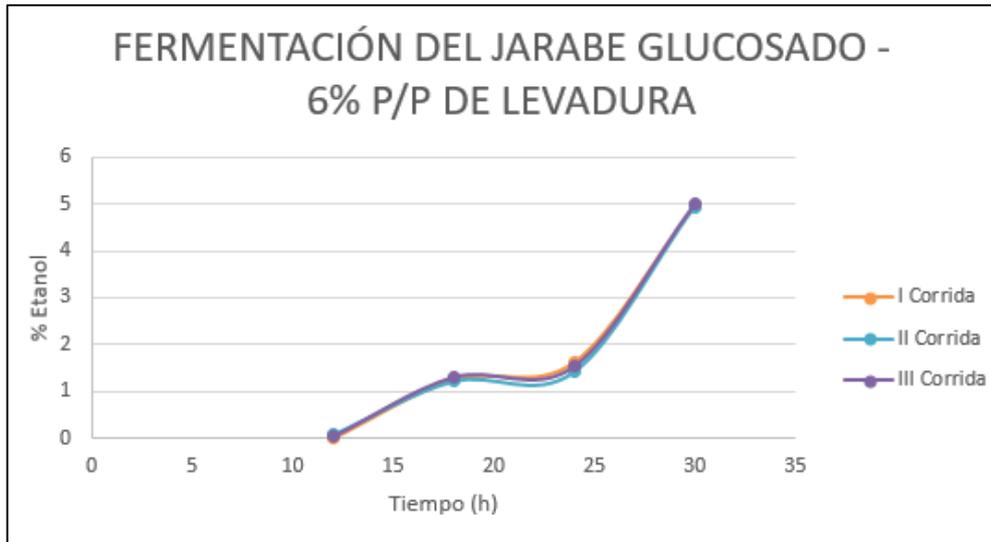


Figura 13. Etanol (%) a partir de jarabe glucosado y 6% p/p de levadura.

Rendimiento máximo de bioetanol a partir de la pulpa de café

El máximo rendimiento que obtenemos según cada corrida es a 4% 30h el cual da una media de 4.21 % Etanol.

Como se mencionó para obtener 150ml de jarabe glucosado de pulpa de café utilizamos 120g de pulpa de café.

Por lo tanto, el máximo rendimiento sería:

$$\frac{\text{ml OH}}{\text{Kg de Pulpa de Café}} = \frac{\frac{4.21 \text{ ml OH}}{100 \text{ ml sol}} * 65 \text{ ml sol}}{120 \text{ g Pulpa de Café} * \frac{\text{Kg de Pulpa de Café}}{10^3 \text{ g Pulpa de Café}}}$$

$$Y_{p/s} = \frac{22,80 \text{ ml etanol}}{\text{Kg de de Pulpa de Café}}$$

5.1.5.1. Concentración de etanol a partir de mucílago de café

Tabla 14

Etanol a partir de mucílago de café con 2% p/p de levadura

Tiempo de Fermentación	I Corrida % Etanol	II Corrida % Etanol	III Corrida % Etanol	Promedio % Etanol
12	0.985	0.968	0.9	0.951
18	2.223	2.121	2.181	2.175
24	5.167	5.058	5.216	5.147
30	10.285	10.314	10.31	10.303

Datos de concentración de etanol obtenidos a partir de la cromatografía de gases, para 150 ml de mucílago de café inoculados con *Saccharomyces cerevisiae* 2% p/p.

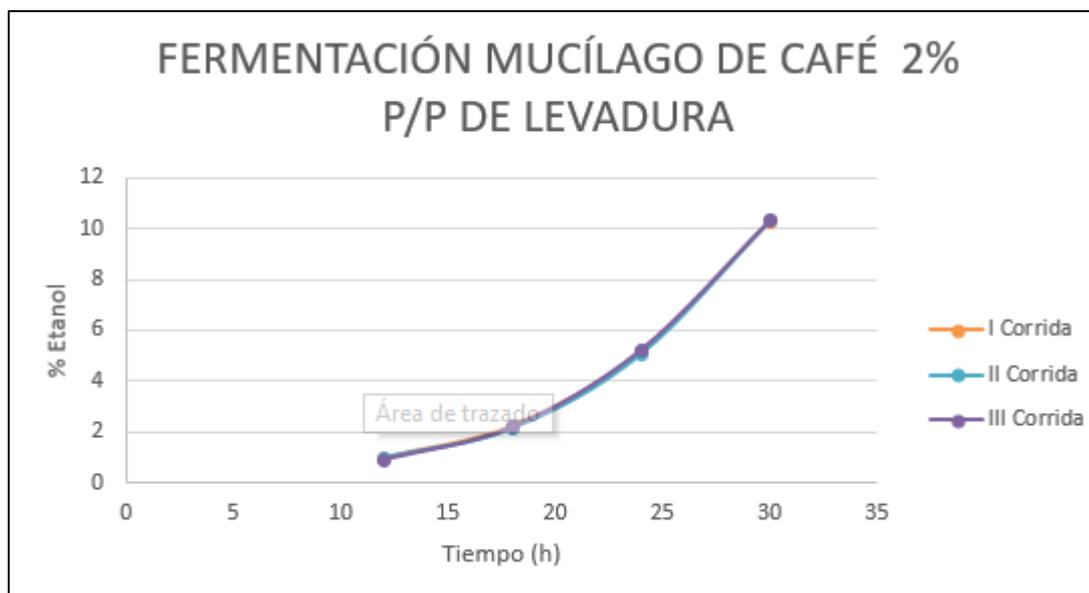


Figura 14. Etanol (%) a partir de mucílago de café y 2% p/p de levadura.

Tabla 15

Etanol a partir de mucílago de café con 4% p/p de levadura

Tiempo de Fermentación	I Corrida % Etanol	II Corrida % Etanol	III Corrida % Etanol	Promedio % Etanol
12	1.880	1.900	1.875	1.885
18	6.356	6.341	6.326	6.341
24	9.654	9.123	9.486	9.421
30	13.950	14.112	13.800	13.954

Datos de concentración de etanol obtenidos a partir de la cromatografía de gases, para 150 ml de mucílago de café inoculados con *Saccharomyces cerevisiae* 4% p/p.

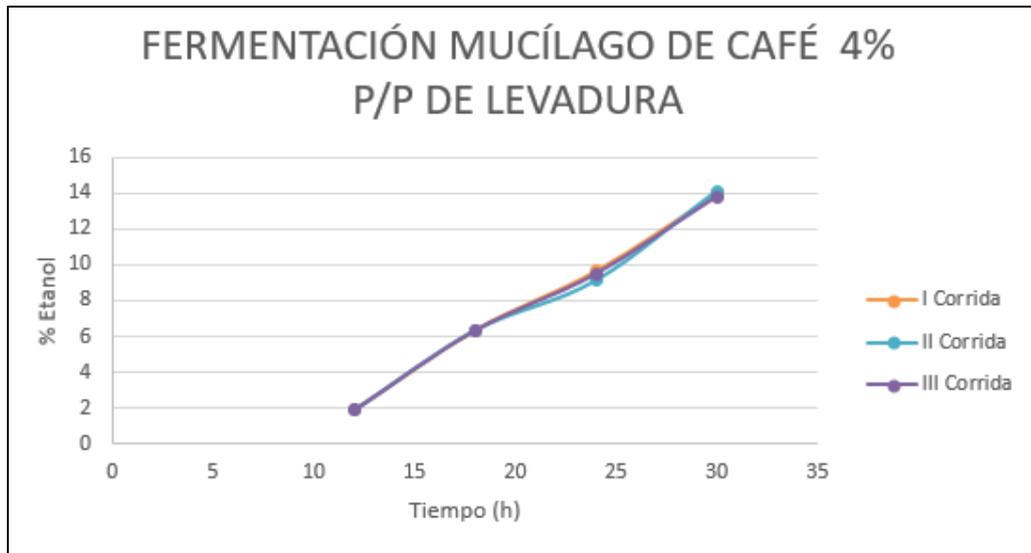


Figura 15. Etanol (%) a partir de mucílago de café y 4% p/p de levadura

Tabla 16

Etanol a partir de mucílago de café con 6% p/p de levadura

Tiempo de Fermentación	I Corrida % Etanol	II Corrida % Etanol	III Corrida % Etanol	Promedio % Etanol
12	0.921	0.942	0.93	0.931
18	1.232	1.206	1.231	1.223
24	5.185	5.177	5.178	5.18
30	8.967	9.076	8.945	8.996

Datos de concentración de etanol obtenidos a partir de la cromatografía de gases, para 150 ml de mucílago de café inoculados con *Saccharomyces cerevisiae* 6% p/p.

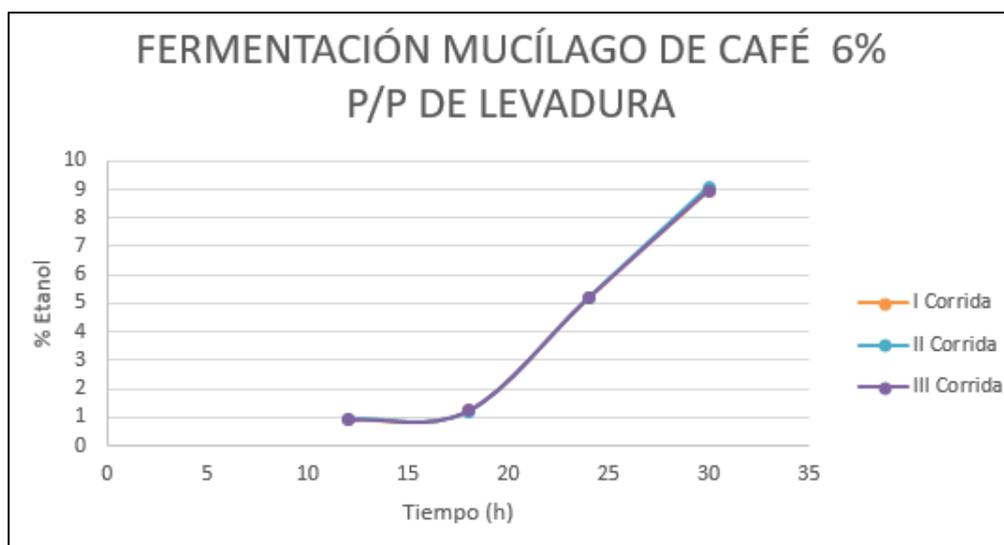


Figura 16. Etanol(%) a partir de mucílago de café y 6% p/p de levadura.

- **Rendimiento máximo de bioetanol a partir de mucílago de café**

El máximo rendimiento que obtenemos según cada corrida es a 4% 30h. el cual da una media de 13.954 % OH

En cada destilación se recuperaron 65 ml de destilado y se trabajó en base a 150 ml de mucílago fresco de densidad 1,2 g/mL.

Por lo tanto, el máximo rendimiento sería:

$$\frac{\text{ml OH}}{\text{Kg de mucílago}} = \frac{\frac{13.954 \text{ ml OH}}{100 \text{ ml sol}} * 65 \text{ mlsol}}{150 \text{ ml mucílago} * \frac{1,2 \text{ g mucílago}}{\text{ml mucílago}} * \frac{\text{Kg mucílago}}{10^3 \text{ g mucílago}}}$$

$$Yp/s = \frac{50,39 \text{ ml OH}}{\text{Kg de mucílago}}$$

5.1.6. Concentración de etanol a partir de la mezcla de productos

Tabla 17

Etanol a partir de mezcla con 2% p/p de levadura

Tiempo De Fermentación	I Corrida % Etanol	II Corrida % Etanol	III Corrida % Etanol	Promedio % Etanol
12	6.851	6.358	6.75	6.653
18	8.261	8.13	8.218	8.203
24	8.952	8.988	8.895	8.945
30	16.641	16.474	16.523	16.546

Datos de concentración de etanol obtenidos a partir de la cromatografía de gases, para 150 ml de mezcla de productos inoculados con *Saccharomyces cerevisiae* 2% p/p.

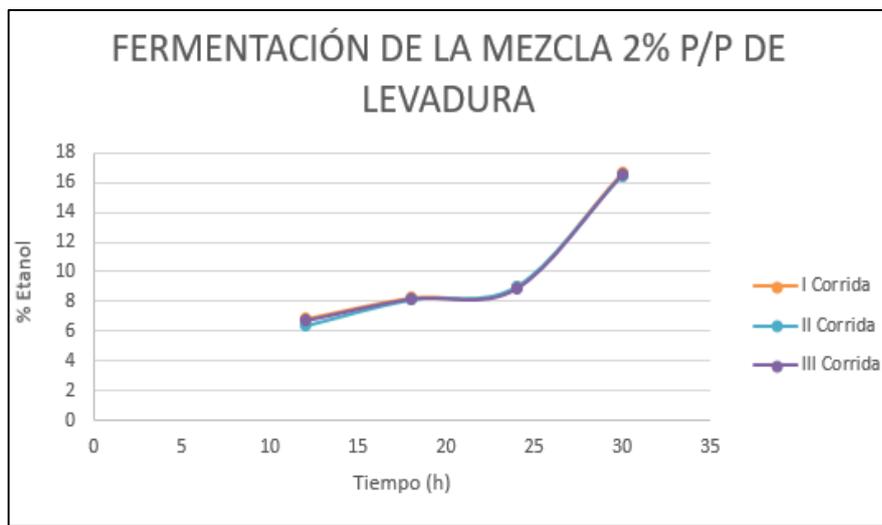


Figura 17. Etanol (%) a partir de la mezcla con 2% p/p de levadura.

Tabla 18

Etanol a partir de mezcla con 4% p/p de levadura

Tiempo De Fermentación	I Corrida % Etanol	II Corrida % Etanol	III Corrida % Etanol	Promedio % Etanol
12	6.232	6.185	6.240	6.219
18	19.870	19.906	19.843	19.873
24	22.754	22.747	22.743	22.748
30	31.985	32.341	31.800	32.042

Datos de concentración de etanol obtenidos a partir de la cromatografía de gases, para 150 ml de mezcla de productos inoculados con *Saccharomyces cerevisiae* 4% p/p.

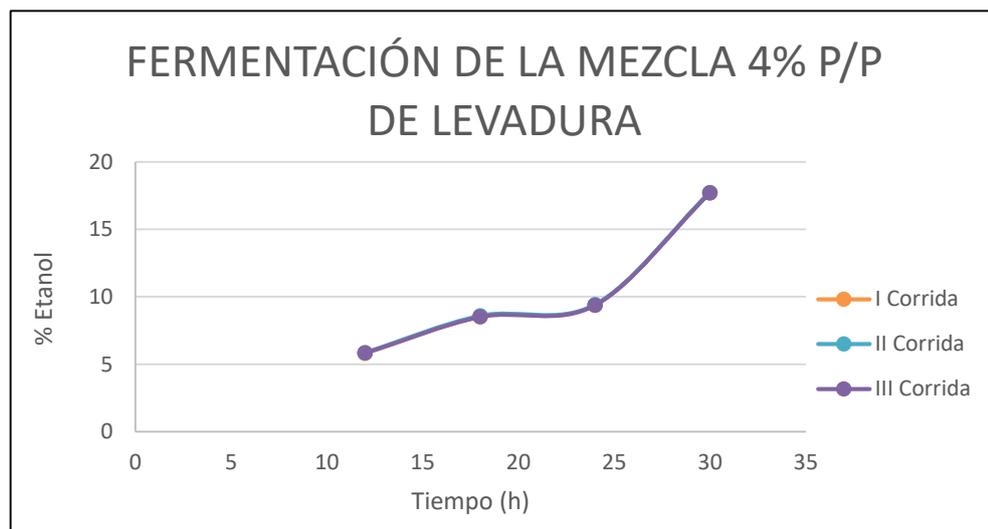


Figura 18. Etanol (%) a partir de la mezcla y 4% p/p de levadura.

Tabla 19

Etanol a partir de mezcla con 6% p/p de levadura

Tiempo de Fermentación	I Corrida % Etanol	II Corrida % Etanol	III Corrida % Etanol	Promedio % Etanol
12	5.800	5.850	5.840	5.830
18	8.523	8.581	8.510	8.538
24	9.380	9.406	9.378	9.388
30	17.700	17.726	17.698	17.708

Datos de concentración de etanol obtenidos a partir de la cromatografía de gases, para 150 ml de mezcla de productos inoculados con *Saccharomyces cerevisiae* 6% p/p

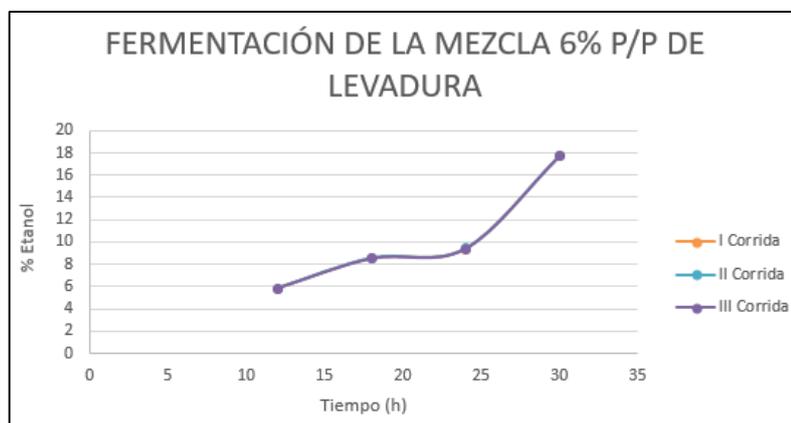


Figura 19. Etanol (%) a partir de la mezcla con 6% p/p de levadura.

Rendimiento máximo de bioetanol a partir de la mezcla de residuos de café

El máximo rendimiento que obtenemos según cada corrida es a 4% 30h el cual da una media de 32,042 % de Etanol

La mezcla tiene una densidad de 1,25g/mL.

$$\frac{\text{ml OH}}{\text{Kg de mezcla}} = \frac{\frac{32,042 \text{ ml OH}}{100 \text{ ml sol}} * 65 \text{ ml sol}}{150 \text{ ml mezcla} * \frac{1,25 \text{ g mezcla}}{\text{ml mezcla}} * \frac{\text{Kg mezcla}}{10^3 \text{ g mezcla}}}$$

$$Y_{p/s} = \frac{111,08 \text{ ml OH}}{\text{Kg de mezcla}}$$

5.1.7. Incremento del rendimiento de la obtención de bioetanol según el residuo utilizado

Pulpa

Incremento del rendimiento de la mezcla respecto al jarabe glucosado, obtenido de la pulpa de café.

$$\frac{100 \times (Yp/s_{mezcla} - Yp/s_{jarabe\ glucosado})}{Yp/s_{jarabe\ glucosado}} = \frac{100 \times (111.08 - 22.8)}{22.8}$$

$$\frac{100 \times (Yp/s_{mezcla} - Yp/s_{jarabe\ glucosado})}{Yp/s_{jarabe\ glucosado}} = 387.193\%$$

Mucílago

Incremento del rendimiento de la mezcla respecto al mucílago de café.

$$\frac{100 \times (Yp/s_{mezcla} - Yp/s_{mucilago})}{Yp/s_{mucilago}} = \frac{100 \times (111.08 - 50.39)}{50.39}$$

$$\frac{100 \times (Yp/s_{mezcla} - Yp/s_{mucilago})}{Yp/s_{mucilago}} = 120.441\%$$

5.2. Datos Inferenciales

5.2.1. Hipótesis específica 1

El tiempo óptimo de fermentación es de 24 horas.

Tabla 20

Medias de % de etanol en función del tiempo de fermentación.

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
12h	27	2,601333	2,6793781	0,5156465	1,541407	3,661260	0,0000	6,8510
18h	27	5,651222	5,8952248	1,1345365	3,319149	7,983295	1,2060	19,9060
24h	27	7,539000	6,2069038	1,1945192	5,083631	9,994369	1,4170	22,7540
30h	27	12,426259	8,7151764	1,6772365	8,978650	15,873868	3,0000	32,3410
Total	108	7,054454	7,1308016	0,6861617	5,694218	8,414689	0,0000	32,3410

Análisis de las medias de los grupos de tiempo de fermentación, tamaño muestral 27.

Tabla 21

Prueba de Levene según tiempos de fermentación

Prueba de homogeneidad de varianzas			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
5.722	3	104	,001

Prueba de Levene, con significancia menor a 0,05 lo cual indica que existe variación significativa entre los grupos.

Tabla 22

ANOVA según tiempos de fermentación

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	1374,041	3	458,014	11,713	,000
Intra-grupos	4066,730	104	39,103		
Total	5440,771	107			

Existe diferencia significativa entre las medias de los grupos de los tiempos de fermentación, dado que la significancia es menor de 0.05.

Tabla 23

Análisis de Tukey según tiempo de fermentación.

(I) GRUPO	(J) GRUPO	Diferencia de			Intervalo de confianza al 95%	
		medias (I-J)	Error típico	Sig.	Límite inferior	Límite superior
12h	18h	-3,0498889	1,7019199	,283	-7,493702	1,393925
	24h	-4,9376667*	1,7019199	,023	-9,381480	-,493853
	30h	-9,8249259*	1,7019199	,000	-14,268739	-5,381112
18h	12h	3,0498889	1,7019199	,283	-1,393925	7,493702
	24h	-1,8877778	1,7019199	,685	-6,331591	2,556036
	30h	-6,7750370*	1,7019199	,001	-11,218851	-2,331223
24h	12h	4,9376667*	1,7019199	,023	,493853	9,381480
	18h	1,8877778	1,7019199	,685	-2,556036	6,331591
	30h	-4,8872593*	1,7019199	,025	-9,331073	-,443446
30h	12h	9,8249259*	1,7019199	,000	5,381112	14,268739
	18h	6,7750370*	1,7019199	,001	2,331223	11,218851
	24h	4,8872593*	1,7019199	,025	,443446	9,331073

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Tabla 24

Subconjuntos homogéneos según tiempo de fermentación

HSD de Tukey				
Subconjunto para alfa = 0.05				
GRUPO	N	1	2	3
12h	27	2,601333		
18h	27	5,651222	5,651222	
24h	27		7,539000	
30h	27			12,426259
Sig.		,283	,685	1,000

Significancia mayor a 0.05, lo cual indica que no hay variación significativa entre las medias de los grupos.

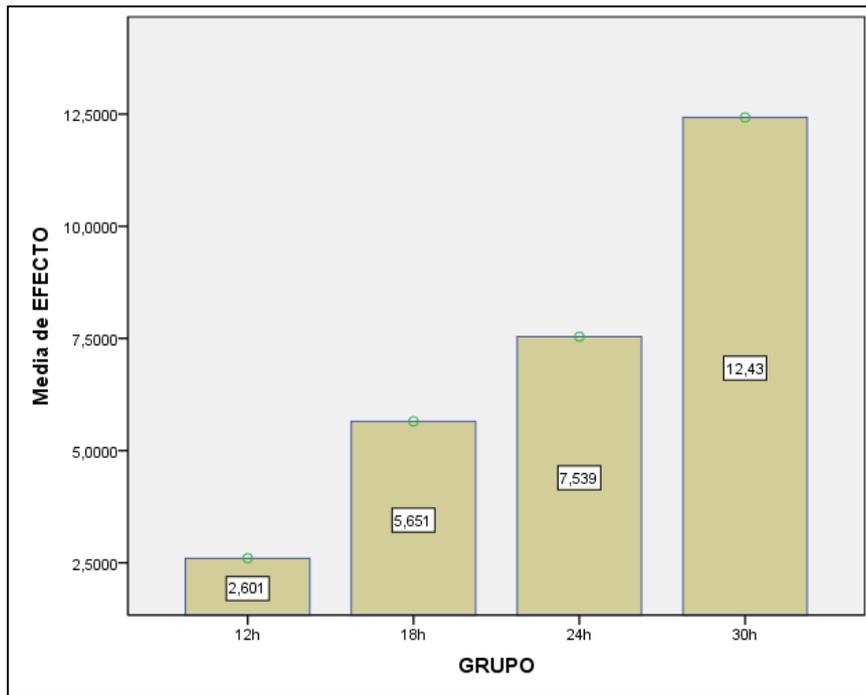


Figura 20. Gráfica de las medias de % etanol según tiempo de fermentación.

5.2.2. Hipótesis específica 2

La concentración óptima de *Saccharomyces cerevisiae* es 4% p/p.

Tabla 25

Medias de % de etanol en función del %p/p de levadura

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
					2%	36		
4%	36	10,162833	9,6829977	1,6138329	6,886578	13,439088	,9000	32,3410
6%	36	5,465500	4,9757770	,8292962	3,781939	7,149061	,0000	17,7260
Total	108	7,054454	7,1308016	,6861617	5,694218	8,414689	,0000	32,3410

Análisis de las medias de los grupos de concentración de *Saccharomyces cerevisiae*, tamaño muestral 36.

Tabla 26

Prueba de Levene según el %p/p de levadura

Prueba de homogeneidad de varianzas			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
13,967	2	105	,000

Prueba de Levene, con significancia menor a 0,05 lo cual indica que existe variación significativa entre los grupos.

Tabla 27

ANOVA según el %p/p de levadura

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	521,836	2	260,918	5,570	,005
Intra-grupos	4918,935	105	46,847		
Total	5440,771	107			

Existe diferencia significativa entre las medias de los grupos de las concentraciones (%p/p) de levadura, dado que la significancia es menor de 0.05.

Tabla 28

Análisis de Tukey según el %p/p de levadura

(I) GRUPO	(J) GRUPO	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
2%	4%	-4,6278056*	1,6132610	,014	-8,463181	-,792430
	6%	,0695278	1,6132610	,999	-3,765848	3,904903
4%	2%	4,6278056*	1,6132610	,014	,792430	8,463181
	6%	4,6973333*	1,6132610	,012	,861958	8,532709
6%	2%	-,0695278	1,6132610	,999	-3,904903	3,765848
	4%	-4,6973333*	1,6132610	,012	-8,532709	-,861958

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Tabla 29

Subconjuntos homogéneos según el %p/p de levadura

HSD de Tukey			
GRUPO	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
6%	36	5,465500	
2%	36	5,535028	
4%	36		10,162833
Sig.		,999	1,000

Significancia mayor a 0.05, lo cual indica que no hay variación significativa entre las medias de los grupos.

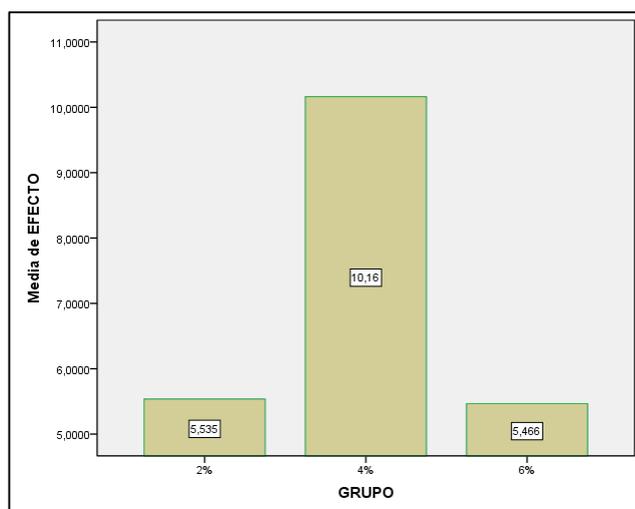


Figura 21. Gráfica % de etanol según el %p/p de levadura.

5.2.3. Comparación del rendimiento con respecto al tipo de residuo

La comparación de los resultados del rendimiento de obtención de bioetanol tanto por mucílago y pulpa de café respecto a la unión de ambos nos indica un aumento en el rendimiento.

Tabla 30
Medias en función a los tipos de residuos de café

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
					Jarabe glucosado	36		
Mucílago	36	5,542250	4,2133516	,7022253	4,116657	6,967843	,9000	14,1120
Mezcla	36	13,557750	7,9967452	1,3327909	10,852041	16,263459	5,800	32,3410
Total	108	7,054454	7,1308016	,6861617	5,694218	8,414689	,0000	32,3410

Análisis de las medias de los grupos de tiempo de fermentación, tamaño muestral 36.

Tabla 31

Prueba de Levene en función a los residuos de café

Prueba de homogeneidad de varianzas			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
40,727	2	105	,000

Prueba de Levene, con significancia menor a 0,05 lo cual indica que existe variación significativa entre los grupos.

Tabla 32

ANOVA según tipo de residuo de café

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	2501,663	2	1250,831	44,686	,000
Intra-grupos	2939,109	105	27,992		
Total	5440,771	107			

Existe diferencia significativa entre las medias de los grupos de los rendimientos del bioetanol a partir del jarabe glucosado, mucílago y la mezcla, dado que la significancia es menor de 0.05.

Tabla 33

Análisis de Tukey según residuo de café

(I) GRUPO	(J) GRUPO	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Jarabe	Mucílago	-3,4788889*	1,2470301	,017	-6,443585	-,514193
glucosado	Mezcla	-11,4943889*	1,2470301	,000	-14,459085	-8,529693
Mucílago	Jarabe	3,4788889*	1,2470301	,017	,514193	6,443585
	glucosado	3,4788889*	1,2470301	,017	,514193	6,443585
Mezcla	Mezcla	-8,0155000*	1,2470301	,000	-10,980196	-5,050804
	Jarabe	11,4943889*	1,2470301	,000	8,529693	14,459085
	glucosado	11,4943889*	1,2470301	,000	8,529693	14,459085
	Mucílago	8,0155000*	1,2470301	,000	5,050804	10,980196

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Tabla 34

Subconjuntos homogéneos según residuos de café

GRUPO	N	HSD de Tukey ^a		
		Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Jarabe	36	2,063361		
glucosado	36		5,542250	
Mucílago	36			13,557750
Mezcla	36			
Sig.		1,000	1,000	1,000

Significancia mayor a 0.05, lo cual indica que no hay variación significativa entre las medias de los grupos.

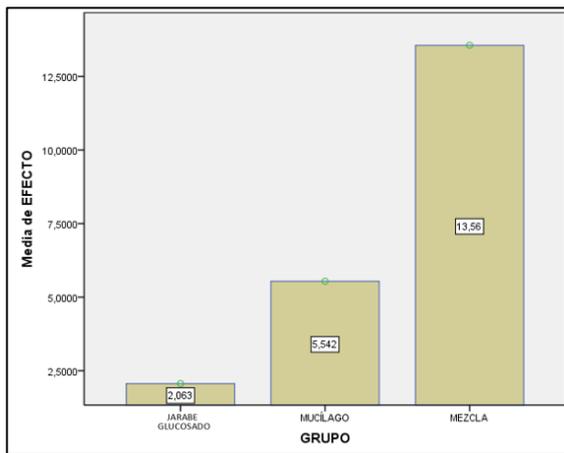


Figura 22. Gráfica de % de etanol según residuo utilizado.

5.2.4. Hipótesis general

H1: El incremento del rendimiento de obtención de bioetanol a partir de residuos de café por fermentación alcohólica depende del tiempo y concentración de *Saccharomyces cerevisiae* (diferencia de medias diferente de cero).

Tabla 35
 Medias según %p/p de levadura y tiempo de fermentación

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para		Mínimo	Máximo
					la media al 95%			
					Límite inferior	Límite superior		
2% 12h	9	2,534667	3,1188800	1,0396267	,137283	4,932050	,0000	6,8510
2% 18h	9	3,894333	3,2536883	1,0845628	1,393327	6,395340	1,2780	8,2610
2% 24h	9	5,724000	2,5767421	,8589140	3,743341	7,704659	3,0500	8,9880
2% 30h	9	9,987111	5,8222838	1,9407613	5,511708	14,462515	3,0000	16,6410
4% 12h	9	3,003000	2,4490998	,8163666	1,120455	4,885545	,9000	6,2400
4% 18h	9	9,384000	8,0945119	2,6981706	3,162007	15,605993	1,9150	19,9060
4% 24h	9	11,529000	8,9450273	2,9816758	4,653243	18,404757	2,3980	22,7540
4% 30h	9	16,735333	12,2318645	4,0772882	7,333090	26,137577	4,1460	32,3410
6% 12h	9	2,266333	2,7006867	,9002289	,190402	4,342265	,0000	5,8500
6% 18h	9	3,675333	3,6471712	1,2157237	,871869	6,478797	1,2060	8,5810
6% 24h	9	5,364000	3,4084010	1,1361337	2,744071	7,983929	1,4170	9,4060
6% 30h	9	10,556333	5,6407461	1,8802487	6,220472	14,892195	4,9450	17,7260
Total	108	7,054454	7,1308016	,6861617	5,694218	8,414689	,0000	32,3410

Datos de valores de medias de datos agrupados según tiempo y concentración, valor muestral 9.

Tabla 36

Prueba de Levene según %p/p de levadura y tiempo

Prueba de homogeneidad de varianzas			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
8,280	11	96	,000

Prueba de Levene, con significancia menor a 0,05 lo cual indica que existe variación significativa entre los grupos.

Tabla 37

ANOVA según %p/p de levadura y tiempo

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	2032,495	11	184,772	5,204	,000
Intra-grupos	3408,276	96	35,503		
Total	5440,771	107			

Existe diferencia significativa entre las medias de los grupos de %p/p de levadura y tiempo, dado que la significancia es menor de 0.05.

Tabla 38

Análisis de Tukey según 2% p/p de levadura y 12h

(I) GRUPO	(J) GRUPO	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
2% 12h	2% 18h	-1,3596667	2,8088303	1,000	-10,769594	8,050261
	2% 24h	-3,1893333	2,8088303	,992	-12,599261	6,220594
	2% 30h	-7,4524444	2,8088303	,266	-16,862372	1,957483
	4% 12h	-,4683333	2,8088303	1,000	-9,878261	8,941594
	4% 18h	-6,8493333	2,8088303	,391	-16,259261	2,560594
	4% 24h	-8,9943333	2,8088303	,075	-18,404261	,415594
	4% 30h	-14,2006667*	2,8088303	,000	-23,610594	-4,790739
	6% 12h	,2683333	2,8088303	1,000	-9,141594	9,678261
	6% 18h	-1,1406667	2,8088303	1,000	-10,550594	8,269261
6% 24h	-2,8293333	2,8088303	,997	-12,239261	6,580594	

Tabla 39

Análisis de Tukey según 2% p/p de levadura y 18h

(I) GRUPO	(J) GRUPO	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
2% 18h	2% 12h	1,3596667	2,8088303	1,000	-8,050261	10,769594
	2% 24h	-1,8296667	2,8088303	1,000	-11,239594	7,580261
	2% 30h	-6,0927778	2,8088303	,576	-15,502705	3,317150
	4% 12h	,8913333	2,8088303	1,000	-8,518594	10,301261
	4% 18h	-5,4896667	2,8088303	,722	-14,899594	3,920261
	4% 24h	-7,6346667	2,8088303	,234	-17,044594	1,775261
	4% 30h	-12,8410000*	2,8088303	,001	-22,250928	-3,431072
	6% 12h	1,6280000	2,8088303	1,000	-7,781928	11,037928
	6% 18h	,2190000	2,8088303	1,000	-9,190928	9,628928
	6% 24h	-1,4696667	2,8088303	1,000	-10,879594	7,940261
6% 30h	-6,6620000	2,8088303	,435	-16,071928	2,747928	

Tabla 40

Análisis de Tukey según 2% p/p de levadura y 24h

(I) GRUPO	(J) GRUPO	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
2% 24h	2% 12h	3,1893333	2,8088303	,992	-6,220594	12,599261
	2% 18h	1,8296667	2,8088303	1,000	-7,580261	11,239594
	2% 30h	-4,2631111	2,8088303	,932	-13,673039	5,146817
	4% 12h	2,7210000	2,8088303	,998	-6,688928	12,130928
	4% 18h	-3,6600000	2,8088303	,977	-13,069928	5,749928
	4% 24h	-5,8050000	2,8088303	,647	-15,214928	3,604928
	4% 30h	-11,0113333*	2,8088303	,009	-20,421261	-1,601406
	6% 12h	3,4576667	2,8088303	,985	-5,952261	12,867594
	6% 18h	2,0486667	2,8088303	1,000	-7,361261	11,458594
	6% 24h	,3600000	2,8088303	1,000	-9,049928	9,769928
6% 30h	-4,8323333	2,8088303	,854	-14,242261	4,577594	

Tabla 41

Análisis de Tukey según 2% p/p de levadura y 30h

(I) GRUPO	(J) GRUPO	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
2% 30h	2% 12h	7,4524444	2,8088303	,266	-1,957483	16,862372
	2% 18h	6,0927778	2,8088303	,576	-3,317150	15,502705
	2% 24h	4,2631111	2,8088303	,932	-5,146817	13,673039
	4% 12h	6,9841111	2,8088303	,361	-2,425817	16,394039
	4% 18h	,6031111	2,8088303	1,000	-8,806817	10,013039
	4% 24h	-1,5418889	2,8088303	1,000	-10,951817	7,868039
	4% 30h	-6,7482222	2,8088303	,415	-16,158150	2,661705
	6% 12h	7,7207778	2,8088303	,219	-1,689150	17,130705
	6% 18h	6,3117778	2,8088303	,521	-3,098150	15,721705
	6% 24h	4,6231111	2,8088303	,887	-4,786817	14,033039
6% 30h	-,5692222	2,8088303	1,000	-9,979150	8,840705	

Tabla 42

Análisis de Tukey según 4% p/p de levadura y 12h

(I) GRUPO	(J) GRUPO	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
4% 12h	2% 12h	,4683333	2,8088303	1,000	-8,941594	9,878261
	2% 18h	-,8913333	2,8088303	1,000	-10,301261	8,518594
	2% 24h	-2,7210000	2,8088303	,998	-12,130928	6,688928
	2% 30h	-6,9841111	2,8088303	,361	-16,394039	2,425817
	4% 18h	-6,3810000	2,8088303	,503	-15,790928	3,028928
	4% 24h	-8,5260000	2,8088303	,114	-17,935928	,883928
	4% 30h	-13,7323333*	2,8088303	,000	-23,142261	-4,322406
	6% 12h	,7366667	2,8088303	1,000	-8,673261	10,146594
	6% 18h	-,6723333	2,8088303	1,000	-10,082261	8,737594
	6% 24h	-2,3610000	2,8088303	,999	-11,770928	7,048928
6% 30h	-7,5533333	2,8088303	,248	-16,963261	1,856594	

Tabla 43

Análisis de Tukey según 4% p/p de levadura y 18h

EFECTO HSD de Tukey						
(I) GRUPO	(J) GRUPO	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
4% 18h	2% 12h	6,8493333	2,8088303	,391	-2,560594	16,259261
	2% 18h	5,4896667	2,8088303	,722	-3,920261	14,899594
	2% 24h	3,6600000	2,8088303	,977	-5,749928	13,069928
	2% 30h	-,6031111	2,8088303	1,000	-10,013039	8,806817
	4% 12h	6,3810000	2,8088303	,503	-3,028928	15,790928
	4% 24h	-2,1450000	2,8088303	1,000	-11,554928	7,264928
	4% 30h	-7,3513333	2,8088303	,285	-16,761261	2,058594
	6% 12h	7,1176667	2,8088303	,332	-2,292261	16,527594
	6% 18h	5,7086667	2,8088303	,670	-3,701261	15,118594
	6% 24h	4,0200000	2,8088303	,954	-5,389928	13,429928
6% 30h	-1,1723333	2,8088303	1,000	-10,582261	8,237594	

Tabla 44

Análisis de Tukey según 4% p/p de levadura y 24h

EFECTO HSD de Tukey						
(I) GRUPO	(J) GRUPO	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
4% 24h	2% 12h	8,9943333	2,8088303	,075	-,415594	18,404261
	2% 18h	7,6346667	2,8088303	,234	-1,775261	17,044594
	2% 24h	5,8050000	2,8088303	,647	-3,604928	15,214928
	2% 30h	1,5418889	2,8088303	1,000	-7,868039	10,951817
	4% 12h	8,5260000	2,8088303	,114	-,883928	17,935928
	4% 18h	2,1450000	2,8088303	1,000	-7,264928	11,554928
	4% 30h	-5,2063333	2,8088303	,784	-14,616261	4,203594
	6% 12h	9,2626667	2,8088303	,058	-,147261	18,672594
	6% 18h	7,8536667	2,8088303	,199	-1,556261	17,263594
	6% 24h	6,1650000	2,8088303	,557	-3,244928	15,574928
6% 30h	,9726667	2,8088303	1,000	-8,437261	10,382594	

Tabla 45

Análisis de Tukey según 4% p/p de levadura y 30h

(I) GRUPO	(J) GRUPO	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
4% 30h	2% 12h	14,2006667*	2,8088303	,000	4,790739	23,610594
	2% 18h	12,8410000*	2,8088303	,001	3,431072	22,250928
	2% 24h	11,0113333*	2,8088303	,009	1,601406	20,421261
	2% 30h	6,7482222	2,8088303	,415	-2,661705	16,158150
	4% 12h	13,7323333*	2,8088303	,000	4,322406	23,142261
	4% 18h	7,3513333	2,8088303	,285	-2,058594	16,761261
	4% 24h	5,2063333	2,8088303	,784	-4,203594	14,616261
	6% 12h	14,4690000*	2,8088303	,000	5,059072	23,878928
	6% 18h	13,0600000*	2,8088303	,001	3,650072	22,469928
	6% 24h	11,3713333*	2,8088303	,006	1,961406	20,781261
	6% 30h	6,1790000	2,8088303	,554	-3,230928	15,588928

Tabla 46

Análisis de Tukey según 6% p/p de levadura y 12h

(I) GRUPO	(J) GRUPO	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
6% 12h	2% 12h	-,2683333	2,8088303	1,000	-9,678261	9,141594
	2% 18h	-1,6280000	2,8088303	1,000	-11,037928	7,781928
	2% 24h	-3,4576667	2,8088303	,985	-12,867594	5,952261
	2% 30h	-7,7207778	2,8088303	,219	-17,130705	1,689150
	4% 12h	-,7366667	2,8088303	1,000	-10,146594	8,673261
	4% 18h	-7,1176667	2,8088303	,332	-16,527594	2,292261
	4% 24h	-9,2626667	2,8088303	,058	-18,672594	,147261
	4% 30h	-14,4690000*	2,8088303	,000	-23,878928	-5,059072
	6% 18h	-1,4090000	2,8088303	1,000	-10,818928	8,000928
	6% 24h	-3,0976667	2,8088303	,994	-12,507594	6,312261
	6% 30h	-8,2900000	2,8088303	,140	-17,699928	1,119928

Tabla 47

Análisis de Tukey según 6% p/p de levadura y 18h

(I) GRUPO	(J) GRUPO	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
6% 18h	2% 12h	1,1406667	2,8088303	1,000	-8,269261	10,550594
	2% 18h	-,2190000	2,8088303	1,000	-9,628928	9,190928
	2% 24h	-2,0486667	2,8088303	1,000	-11,458594	7,361261
	2% 30h	-6,3117778	2,8088303	,521	-15,721705	3,098150
	4% 12h	,6723333	2,8088303	1,000	-8,737594	10,082261
	4% 18h	-5,7086667	2,8088303	,670	-15,118594	3,701261
	4% 24h	-7,8536667	2,8088303	,199	-17,263594	1,556261
	4% 30h	-13,0600000*	2,8088303	,001	-22,469928	-3,650072
	6% 12h	1,4090000	2,8088303	1,000	-8,000928	10,818928
6% 24h	6% 24h	-1,6886667	2,8088303	1,000	-11,098594	7,721261
	6% 30h	-6,8810000	2,8088303	,384	-16,290928	2,528928

Tabla 48

Análisis de Tukey según 6% p/p de levadura y 24h

(I) GRUPO	(J) GRUPO	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
6% 24h	2% 12h	2,8293333	2,8088303	,997	-6,580594	12,239261
	2% 18h	1,4696667	2,8088303	1,000	-7,940261	10,879594
	2% 24h	-,3600000	2,8088303	1,000	-9,769928	9,049928
	2% 30h	-4,6231111	2,8088303	,887	-14,033039	4,786817
	4% 12h	2,3610000	2,8088303	,999	-7,048928	11,770928
	4% 18h	-4,0200000	2,8088303	,954	-13,429928	5,389928
	4% 24h	-6,1650000	2,8088303	,557	-15,574928	3,244928
	4% 30h	-11,3713333*	2,8088303	,006	-20,781261	-1,961406
	6% 12h	3,0976667	2,8088303	,994	-6,312261	12,507594
	6% 18h	1,6886667	2,8088303	1,000	-7,721261	11,098594
	6% 30h	-5,1923333	2,8088303	,787	-14,602261	4,217594

Tabla 49

Análisis de Tukey según 6% p/p de levadura y 30h

(I) GRUPO	(J) GRUPO	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
6% 30h	2% 12h	8,0216667	2,8088303	,174	-1,388261	17,431594
	2% 18h	6,6620000	2,8088303	,435	-2,747928	16,071928
	2% 24h	4,8323333	2,8088303	,854	-4,577594	14,242261
	2% 30h	,5692222	2,8088303	1,000	-8,840705	9,979150
	4% 12h	7,5533333	2,8088303	,248	-1,856594	16,963261
	4% 18h	1,1723333	2,8088303	1,000	-8,237594	10,582261
	4% 24h	-,9726667	2,8088303	1,000	-10,382594	8,437261
	4% 30h	-6,1790000	2,8088303	,554	-15,588928	3,230928
	6% 12h	8,2900000	2,8088303	,140	-1,119928	17,699928
	6% 18h	6,8810000	2,8088303	,384	-2,528928	16,290928
	6% 24h	5,1923333	2,8088303	,787	-4,217594	14,602261

Tabla 50

Subconjuntos homogéneos según %p/p de levadura y tiempo

GRUPO	N	HSD de Tukey	
		Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
6% 12h	9	2,266333	
2% 12h	9	2,534667	
4% 12h	9	3,003000	
6% 18h	9	3,675333	
2% 18h	9	3,894333	
6% 24h	9	5,364000	
2% 24h	9	5,724000	
4% 18h	9	9,384000	9,384000
2% 30h	9	9,987111	9,987111
6% 30h	9	10,556333	10,556333
4% 24h	9	11,529000	11,529000
4% 30h	9		16,735333
Sig.		,058	,285

Según Tukey, se forman dos subconjuntos homogéneos en donde las medias no difieren de forma estadística (significancia mayor a 0.05). En

el primer subconjunto se observa que en las concentraciones 2% (12h, 18h, 24h y 30h) 4% (12h, 18h y 24h) y 6% (12h, 18h, 24h y 30h) y en el segundo subconjunto se observa que para los grupos de 4% (18h ,24h y 30h), 2% 30h y 6%30h no hay diferencias significativas.

Se observa que para todas las concentraciones 2, 4 y 6 % p/p a 30 horas se tiene los máximos rendimientos en obtención de bioetanol. Siendo el máximo rendimiento a 4% p/p y 30h.

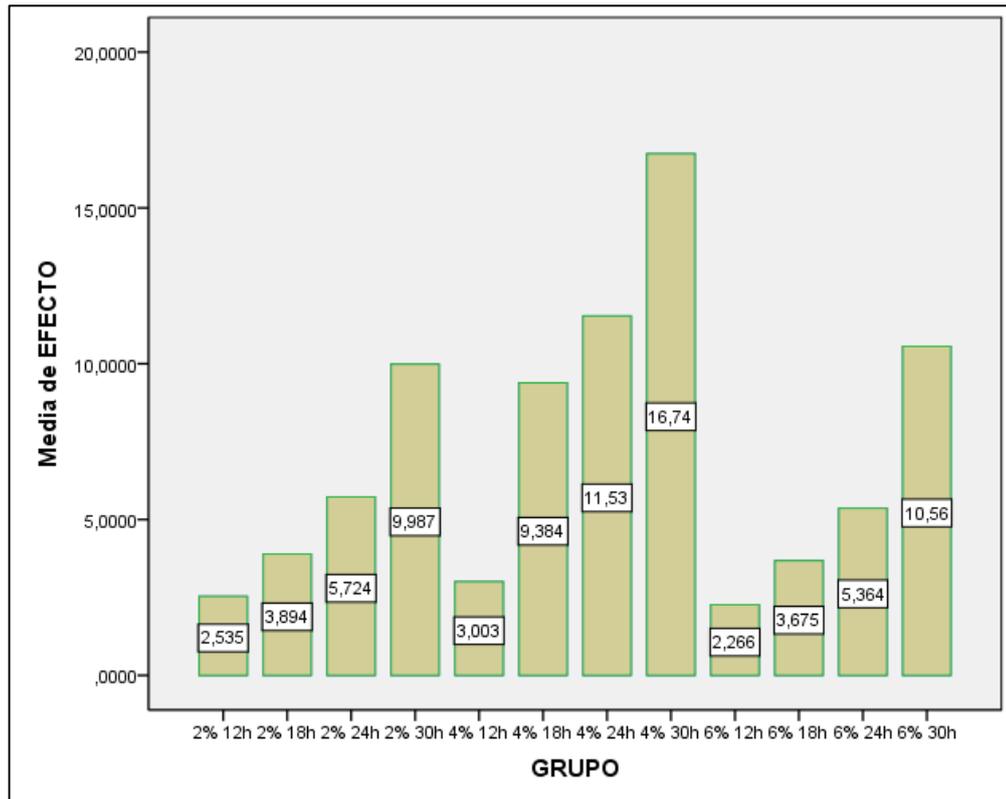


Figura 23. Gráfica de % etanol según tiempo y %p/p levadura.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación de la hipótesis con los resultados

6.1.1. Tiempo óptimo de fermentación

Utilizando el método de Tukey a partir de 3 conjuntos (ver Tabla 24), se puede observar que el rendimiento de bioetanol en todos los casos es mayor a 30 horas (ver Figura 20), no observándose diferencias significativas de las medias de los rendimientos a 24 y 30 horas. Este resultado difiere de la hipótesis planteada, aun cuando estadísticamente la diferencia no es significativa.

6.1.2. Concentración óptima de fermentación

La prueba de Levene (ver Tabla 26), con significancia menor a 0.05, indica que existe diferencia entre las medias de los rendimientos de obtención de bioetanol cuando las muestras son sometidas a diferentes concentraciones de levadura en la fermentación. La prueba de Tukey confirma dicha diferencia y además los resultados de los rendimientos de los residuos por separado y de la mezcla, confirma que el máximo rendimiento se alcanza al 4% (ver Figura 21); coincidiendo con la hipótesis planteada.

6.1.3. Contrastación de la hipótesis general

- Rendimiento de bioetanol a partir de los residuos de café

Existe diferencia significativa entre los rendimientos de bioetanol obtenido a partir de la mezcla de residuos respecto a los rendimientos de obtención de bioetanol a partir de la pulpa y del mucílago de café. El incremento del rendimiento de obtención de bioetanol respecto al mucílago fue de 120.441%; mientras que el incremento respecto al jarabe glucosado fue de 387.193%. (ver Figura 22)

- **Dependencia del tiempo y concentración de levadura**

Se demuestra que existe dependencia del rendimiento de obtención de bioetanol con respecto a la concentración de la levadura y al tiempo de fermentación, siendo el rendimiento máximo para tiempos de 30 horas y 4% p/p de levadura (ver Figura 23)

6.2. **Contrastación de los resultados con otros estudios similares**

Existen estudios que evalúan el rendimiento de la producción de bioetanol utilizando los residuos por separado tal es el caso del estudio presentado por Tavares, E (2012), quien reporta un rendimiento de obtención de bioetanol a partir de pulpa de café variedad *Coffea arabica* de 25.63g etanol/Litro de jarabe glucosado. En la presente investigación el máximo rendimiento obtenido a partir de la pulpa de café respecto a la cantidad de jarabe glucosado fue de 30.32 ml de etanol/ L de jarabe glucosado.

Rodríguez, (2013) reportó 11.91 ml de etanol/kg de pulpa de café con un tiempo de fermentación de 15h y una concentración de azúcares de 7.6 °Brix de jarabe de pulpa de café variedad *Castillo Naranja*, obtenido por hidrólisis ácida, en la presente investigación se obtuvo un máximo rendimiento de obtención de bioetanol de 22.80 ml de etanol/kg de pulpa de café con tiempo de fermentación de 30h y concentración de 22 °Brix del jarabe glucosado de pulpa de café.

Otro resultado reportado de una investigación de obtención de etanol a partir de mucílago de café variedad *Coffea arabica*. L es de 1.4 ml etanol/800ml de mucílago con 6%p/p de levadura, 0.6 ml etanol/800ml de mucílago con 4% p/p de levadura y 0.8 ml etanol/800ml de mucílago con 2% p/p de levadura (Funes et al, 2011). Para la presente investigación se han obtenido los siguientes resultados para 6%p/p y 30 h de fermentación se obtuvo 31.19 ml de etanol/800ml de mucílago; 50.304 ml de etanol/800 ml de mucílago para 4 %p/p y para 2% p/p se obtuvo 35.72 ml de etanol/800ml de mucílago, esta diferencia es debido a que las muestras de la investigación antecedente tubo 5.5°Brix mientras que en la presente información se trabajó con 12.5°Brix.

Rodríguez, N., y Zambrano A. (2011) en su investigación “Producción de alcohol a partir del mucílago de café variedad *Colombia*” reportan un valor máximo para el rendimiento de etanol de 40.32 ml de etanol/L de mucílago. El valor reportado como máximo para la presente investigación de etanol a partir de mucílago es de 62.88 ml de etanol/ L de mucílago a 4%p/p y 30h, se debe de tener en cuenta la diferencia de concentración de azúcares de 9.66°Brix con 12.5 ° Brix del mucílago utilizado en la presente investigación, así como el tiempo de fermentación que fue de 15 horas en la investigación antecedente.

CONCLUSIONES

El tiempo de fermentación óptimo para lograr el mayor rendimiento en obtención de bioetanol a partir de los residuos de café por fermentación alcohólica es de 30 horas. Aun cuando el rendimiento no difiere significativamente de una fermentación de 24 horas.

La concentración adecuada de levadura *Saccharomyces cerevisiae* para incrementar el rendimiento de la obtención de bioetanol a partir de los residuos de café por fermentación alcohólica es 4%p/p.

El rendimiento de obtención de bioetanol depende del tiempo y de la concentración de levadura *Saccharomyces cerevisiae* obteniéndose los rendimientos más altos a 30 horas y con 4% p/p de levadura tanto para la fermentación del mucílago, jarabe glucosado y mezcla de productos

El rendimiento en la obtención de bioetanol a partir de los residuos de café por fermentación alcohólica se incrementa en 387.193 % con respecto a la pulpa y 120.441 % con respecto al mucílago, cuando se trabaja con las mezclas de ambos residuos, por lo que es preferible trabajar con la mezcla de ambos residuos.

RECOMENDACIONES

- Es necesario generar proyectos para el tratamiento de los residuos provenientes del cultivo de café en especial del mucílago ya que éste presenta un pH ácido que va desde 3-5 lo cual es un contaminante para los ríos de las zonas cafetaleras.
- Desarrollar proyectos para la construcción de plantas pilotos dedicadas a la producción de bioetanol en zonas estratégicas de producción de café para tener acceso a los residuos de café de forma constante evitando costos de transporte.
- La implementación de tecnología que ayude a mejorar la extracción del mucílago de café es indispensable como la existente en las zonas productoras de café de Colombia en donde se utilizan desmucilaginosos que trabajan con un flujo mínimo de agua lo cual permite obtener el mucílago de una concentración conocida y elevada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, A. (2016). *Comportamiento de tres variedades de café (Coffea arabica L.) en el valle del Perené. Junín-Perú* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú.
- Almenares, V. y Serrat D. (2008). Aspectos tecnológicos generales para la conversión a etanol de la biomasa lignocelulósica. *Revista Tecnología Química*, 28 (3), 63-70.
- Alvarado, M. y Rojas, G. (2010). Cultivo y beneficiado del café. *Revista de Geografía Agrícola*, 45(2), 103-193.
- Alvarez, M. (2018). *Producción de etanol como biocombustible a partir de residuos vegetales no alimenticios* (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Arévalo, C. (1998). *Optimización de la producción del agente de biocontrol Candida sake (CPA-1)* (tesis de doctorado). Universitat de Lleida, España.
- Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y El Caribe (ARPEL). (2009). *Manual para biocombustibles*. Recuperado de <https://url2.cl/zW6Yf>.
- Cortijo, J. (2017). El mundo del café por: José Daniel Cortijo. Cataluña, España. *Homatic Vending*. Recuperado de <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/01/cafe.pdf>.
- Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2018). *Reglamento de calificación, clasificación y registro de los investigadores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica - Reglamento RENACYT*. Recuperado de https://portal.concytec.gob.pe/images/renacyt/reglamento_renacyt_version_final.pdf
- Cuadras, S. (s.f.). Perú, un país de cafés de altura. Lima, Perú. *Infocafe*. Recuperado de

http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/02/F_07-Peru.pdf.

Cuervo, L., Folch, J., y Quiroz, R. (2009). Lignocelulosa como fuente de azúcares para la producción de etanol. *Revista BioTecnología*, 13(03), 11-25.

D'Éramo, J. (2006). Extracto de células vivas de levadura. Buenos Aires, Argentina. *Cosmetólogas*. Recuperado de <http://www.cosmetologas.com/noticias/val/1019-37/extracto-de-c%C3%A9lulas-vivas-de-levadura.html>.

Distribuidores de café (2017). Tipos de café: arábica y robusta. Tarragona, España. *Productos del Café*. Recuperado de <https://www.productosdelcafe.com/fabricantes-de-cafe.html>.

Elías, L. (1978). *Pulpa de café composición, tecnología y utilización: Composición química de la pulpa de café y otros subproductos*. Bogotá, Colombia: El Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo.

Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. (s.f.) Hoja de seguridad XII Etanol. Ciudad de México, México. *Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México*. Recuperado de <https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2016/12/12etanol.pdf>.

Fernández, G. (2014). Operación unitaria de destilación. Oviedo, España. *Industria e Ingeniería Química*. Recuperado de <http://www.industriaquimica.net/destilacion.html>.

Fierro, C., Contreras, O., González R., Rosas, M. y Morales, R.(2018). Caracterización química y nutrimental de la pulpa de café (*Coffea arabica* L.). *Revista Agroproductividad*, 11(4), 1-13.

Funes, M., Banegas, C., Gonzales, H., Osorio, M., Henríquez, N., Eloy, N., y Mejía, N. (2011). Producción de bioetanol a partir del mucílago de café de la variedad *Coffea arabica* L. *Revista ciencia y tecnología*, 10(1), 150-158.

- Galbe, M., Zacchi, G. (2002). A review of the production of ethanol from softwood. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 59(1), 618–628.
- Gouvea, B., Torres, C., Franca, A., Oliveira, L., y Oliveira, E. (2009). Feasibility of ethanol production from coffee husks. *Biotechnology letters*, 31(9), 1315–1319.
- Gurdo, A. (2016). *Mejoramiento de la levadura Saccharomyces cerevisiae Y138 por ingeniería evolutiva para la producción de bioetanol de segunda generación*. (tesis pregrado). Universidad Nacional de General San Martín, Buenos Aires, Argentina.
- Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (2012). *Metodología de investigación científica aplicado a la ingeniería*. Recuperado de <https://url2.cl/Yi29z>.
- Lesaffre (s.f.). Los nuevos usos de las levaduras. Valladolid, España. Lesaffre. Recuperado de <https://www.lesaffre.es/levaduras-nuevos-usos/>.
- Marcilla, A. (1998). *Introducción a las operaciones de transformación*. Alicante, España: Publicaciones Universidad de Alicante.
- Mejía, B., Montoya, P., Cortés, R., y Saavedra M. (2016). Levaduras Termotolerantes: Aplicaciones industriales, estrés oxidativo y respuesta antioxidante. *Revista Información Tecnológica*, 27(4), 3-16.
- Mendizabal, L. (2016). *Puesta en marcha del nuevo cromatógrafo AC Reformulyzer M4 para la determinación de familias de hidrocarburos, oxigenados y benceno en gasolinas y naftas en refinería*. (tesis de pregrado). Universidad del País Vasco, España.
- Ministerio de Agricultura y Riego (2015). *Situación actual del café en el país*. Lima, Perú. Ministerio de Agricultura y Riego. Recuperado de <http://minagri.gob.pe/portal/485-feria-scaa/10775-el-cafe-peruano>.
- Ministerio de Economía y Finanzas de Panamá. (2012). *Manual para la producción Orgánica del Café Robusta*. Recuperado de https://www.mida.gob.pa/upload/documentos/librosdigitales/PIDC/AC/Manual_Cafe_Robusta/manual_cafe_robusta.pdf.

- McCabe, W., y Smith, J. (2007) *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química séptima edición*. Ciudad de México, México: McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A.
- Morrison, R., y Boyd, R. (1998). *Química Orgánica quinta edición*. Ciudad de México, México: Addison Wesley Iberoamericana.
- Muñoz, H. (2017). Variedades de Cafés: Qué son los Híbridos F1 & Por qué son Buenas Noticias. Crowborough, Inglaterra. *Perfect Daily Grind Español*. Recuperado de <https://perfectdailygrind.com/es/2017/07/11/variedades-de-cafes-que-son-los-hibridos-f1-por-que-son-buenas-noticias/>.
- Navia, P., Velasco, M., y Hoyos, C. (2011). Obtención y evaluación de etanol a partir de los subproductos del beneficio de café. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 18 (03), 284-294.
- Palacín, J.R. (2012). Desarrollo de hojas de cálculo excel con macros para la resolución de problemas de destilación. *Primer congreso en innovación docente en Ingeniería Química Granada 2012*. Congreso llevado a cabo por el departamento de ingeniería química y tecnologías del medio ambiente de la Universidad Zaragoza, España.
- Pinzón, C., y Calderón, O. (2007). *Rediseño de la columna de destilación de laboratorio de operaciones unitarias a proceso continuo y la posterior adaptación de un filtro molecular para la obtención de alcohol anhidro* (tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- Puerta, Q. (2010). Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. *Revista Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Avances Técnicos Cenicafé*, 402(sv),1- 12.
- Puerta, Q., y Ríos, A. (2011). Composición química del mucílago de café, según el tiempo de fermentación y refrigeración. *Cenicafé*, 62 (2), 23-40.

- Reales, J., Castaño, H., y Zapata, J. (2016). Evaluación de tres métodos de pretratamiento químico sobre la deslignificación de tallos de yuca. *Información tecnológica*, 27(3), 11-22.
- Ribeiro, C. (2013). *Produção de Etanol e Pectinase por Kluyveromyces Marxianus Cct 4086 utilizando Resíduos do Processamento do Café (Coffea Arabica L.)* (tesis de doctorado). Universidad Federal de Lavras, Brasil.
- Rodríguez, V. (2013). Producción de Alcohol a partir de la pulpa de café. *Revista Cenicafé*, 64 (2): 78-93.
- Rodríguez, E., y Cárdenas. J. (2009). *Evaluación De La Producción De Bioetanol A Partir De La Degradación De La Pulpa De Café* (tesis pregrado). Universidad de la Salle, Colombia.
- Rodríguez, N., y Zambrano, D. (2010). Los subproductos de café: fuente de energía renovable. *Revista Cenicafé*, 393(sv), 1- 8.
- Rodríguez, N., y Zambrano, D. (2011). Producción de alcohol a partir del mucílago de café. *Revista Cenicafé*, 62(1), 56- 69.
- Sahu, O. (2014). Bioethanol Production by Coffee Husk for Rural Area. *Revista Biochemistry and Biotechnology*. 1(1), 01- 05.
- Sánchez, O., y Cardona, C. (2005). Producción Biotecnológica de Alcohol Carburante I: Obtención a partir de diferentes materias primas. *Revista Interciencia*, 30 (11), 671-678.
- Sebastián, N., y García, G. (2010). *Energía de la biomasa I (Energías renovables)*. Zaragoza, España: Prensa universitaria de Zaragoza.
- Suárez, M., Garrido, C., y Guevara, R. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. *Revista ICIDCA*, 50(1), 20-28.
- Tavares, E. (2012). *Produção de Etanol utilizando resíduos do Processamento Úmido do Café*. (tesis maestría). Universidad Federal de Lavras, Brasil.
- Tejada, B., Tejada, T., Villabona, O., Tarón, D., Alvear, A., Castillo, C., Henao ,A., Marimon, B., y Madariaga, G.(2010). Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes

glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. *Revista Educación En Ingeniería*, 5 (10), 120- 125.

Tomás, P. (2010). *Bioetanol de paja de trigo: estrategias de integración de las etapas del proceso* (tesis doctorado). Universidad Complutense de Madrid, España.

Treybal, R. (1980). *Operaciones De Transferencia De Masa* (2ª ed., García. ed. y trad.). Ciudad de México, México:McGraw-Hill.

Triana, C. (2010). *Producción de Etanol a partir de residuos provenientes del cultivo del café* (tesis maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Uribe, G. (2007). *Caracterización fisiológica de levaduras aisladas de la fíósfera de la mora* (tesis pregrado). Pontifica Universidad Javeriana, Colombia.

Vásquez, B. (1939). Especies y variedades de Café. Algunas características de las mismas. *Revista de Agricultura*, 22(2), 18-35.

Vásquez, H., y Dacota, O. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. *Revista Ingeniería. investigación y tecnología*, 8(04),249-259.

ANEXO

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivos	Variables	Hipótesis	Dimensiones	Indicadores	Métodos
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cómo incrementar el rendimiento de la obtención de bioetanol a partir de residuos de café por fermentación alcohólica? 	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar los parámetros para incremento del rendimiento de obtención de bioetanol a partir de residuos de café por fermentación alcohólica. 	<ul style="list-style-type: none"> Rendimiento de la obtención de bioetanol a partir de residuos de café por fermentación alcohólica 	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> El incremento del rendimiento de obtención de bioetanol a partir de residuos de café por fermentación alcohólica depende del tiempo y concentración de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> Rendimiento Caracterización del bioetanol 	<ul style="list-style-type: none"> % Rendimiento Producto Sustrato (Y_p/s) %Etanol 	<ul style="list-style-type: none"> Cuantitativo operacional Instrumental
<p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es el tiempo de fermentación al que se debe de someter los residuos de café para lograr el mayor rendimiento en obtención de bioetanol? ¿Cuál será la concentración optima de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> que debe de estar presente en el proceso de fermentación para lograr el mayor rendimiento en obtención de bioetanol? 	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar el tiempo de fermentación al que se debe de someter los residuos de café para lograr el mayor rendimiento en obtención de bioetanol. Determinar la concentración optima de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> que debe de estar presente en el proceso de fermentación para lograr el mayor rendimiento en obtención de bioetanol. 	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo de fermentación Concentración de la levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>. 	<p>HIPÓTESIS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> El tiempo óptimo de fermentación será de 24 horas. La concentración optima de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> será de 4%. La comparación de los resultados del rendimiento de obtención de bioetanol tanto por mucílago y pulpa de café respecto a la unión de ambos nos indica un aumento en el rendimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo de fermentación (horas) Concentración de la levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>. (g/g) 	<ul style="list-style-type: none"> $t_2=12h$ $t_2=18h$ $t_4=24h$ $t_5=30h$ $C_1=2\%p/p$ $C_2=4\%p/p$ $C_3=6\%p/p$ 	<ul style="list-style-type: none"> Instrumental Cuantitativo

RESULTADOS ANÁLISIS

Constancia de servicio de análisis de muestras de bioetanol de residuos de café

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS</p>	
---	--	---

INFORME DE ENSAYO

N°

138-2020

Cliente:	Yuly Salazar Rodriguez; Oscar Tito Nina
Dirección del Cliente:	Av. General Recavarren 1300 SURQUILLO
Referencia USAQ:	243-01/36
Muestra:	BIOETANOL DE RESIDUOS DE CAFÉ
N° Cotización:	No aplica
Fecha de recepción:	31/01/2020
Fecha de emisión de informe:	28/02/2020
Presentación de la muestra:	En tubos de ensayo
Referencia de la muestra:	No aplica

Este informe de ensayo no puede ser reproducido total ni parcialmente, excepto con la autorización del laboratorio. Los informes de ensayo sin la firma del responsable no son válidos. Cualquier observación adicional a la muestra se detalla al final del informe de ensayo

El método desarrollado y los límites de detección (en caso aplique), son detallados a continuación de la tabla de resultados. La muestra podrá ser devuelta en el plazo de 15 días calendario después de entregado el informe de ensayo, pasado el tiempo indicado no se aceptarán reclamos ni devoluciones (no aplica para muestras perecibles).


PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ
QUÍMICO
CQP. 876
Responsable de Laboratorio

Resultados de los %Etanol de las muestras de jarabe glucosado según laboratorio prestador de servicio de análisis

Código Interno	Código software	Tiempo de retención promedio (s)	Conc. Promedio (%)
2%-12h jarabe glucosado	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm02.gcd	0	0
2%-18h jarabe glucosado	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm03.gcd	2.289	1.305
2%-24h jarabe glucosado	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm04.gcd	2.29	3.08
2%-30h jarabe glucosado	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm05.gcd	2.283	3.112
4%-12h jarabe glucosado	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm06.gcd	2.292	0.905
4%-18h jarabe glucosado	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm07.gcd	2.287	1.938
4%-24h jarabe glucosado	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm08.gcd	2.293	2.418
4%-30h jarabe glucosado	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm09.gcd	2.289	4.21
6%-12h jarabe glucosado	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm11.gcd	2.281	0.038
6%-18h jarabe glucosado	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm13.gcd	2.288	1.256
6%-24h jarabe glucosado	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm10.gcd	2.286	1.524
6%-30h jarabe glucosado	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm12.gcd	2.285	4.965

Fuente: Laboratorio USAQ

Resultados de los %Etanol de las muestras de mucílago de café según laboratorio prestador de servicio de análisis.

Código Interno	Código software	Tiempo de retención promedio (s)	Conc. Promedio (%)
2%-12h mucílago	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm34.gcd	2.296	0.951
2%-18h mucílago	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm35.gcd	2.292	2.175
2%-24h mucílago	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm36.gcd	2.291	5.147
2%-30h mucílago	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm37.gcd	2.296	10.303
4%-12h mucílago	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm26.gcd	2.291	1.885
4%-18h mucílago	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm27.gcd	2.293	6.341
4%-24h mucílago	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm28.gcd	2.292	9.421
4%-30h mucílago	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm29.gcd	2.296	13.954
6%-12h mucílago	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm18.gcd	2.306	0.931
6%-18h mucílago	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm19.gcd	2.302	1.223
6%-24h mucílago	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm20.gcd	2.301	5.18
6%-30h mucílago	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm21.gcd	2.307	8.996

Fuente: Laboratorio USAQ

Resultados de los %Etanol de las muestras de la mezcla de pulpa y mucílago de café según laboratorio prestador de servicio de análisis.

Código Interno	Código software	Tiempo de retención promedio (s)	Conc. Promedio (%)
2%-12h mezcla	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm30.gcd	2.288	6.653
2%-18h mezcla	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm31.gcd	2.291	8.203
2%-24h mezcla	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm32.gcd	2.296	8.945
2%-30h mezcla	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm33.gcd	2.307	16.546
4%-12h mezcla	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm22.gcd	2.294	6.219
4%-18h mezcla	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm23.gcd	2.309	19.873
4%-24h mezcla	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm25.gcd	2.309	22.708
4%-30h mezcla	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm24.gcd	2.32	32.042
6%-12h mezcla	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm14.gcd	2.291	5.83
6%-18h mezcla	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm15.gcd	2.293	8.538
6%-24h mezcla	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm16.gcd	2.3	9.388
6%-30h mezcla	ETANOL 25022020 2L 0.53mm01.gcm17.gcd	2.31	17.708

Fuente: Laboratorio USAQ

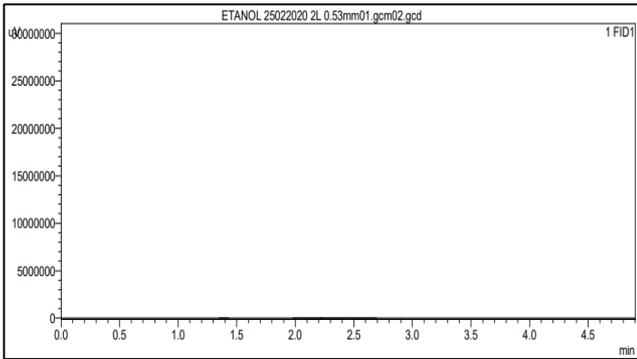
Datos adicionales según laboratorio prestador de servicio de análisis.

Código software	ID de muestra	Tiempo de retención promedio (s)	Conc. Promedio (%)
ESTANDAR01.gcd	ESTÁNDAR	2.392	99.9
Máximo	-	2.392	99.9
Mínimo	-	2.281	0.038
Desviación estándar	-	0.018	16.992

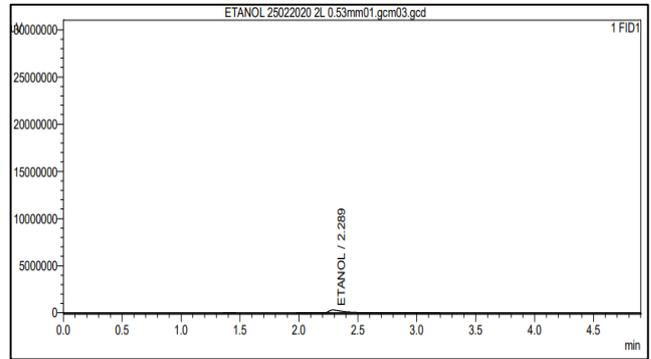
Fuente: Laboratorio USAQ

CROMATOGRAMAS JARABE GLUCOSADO

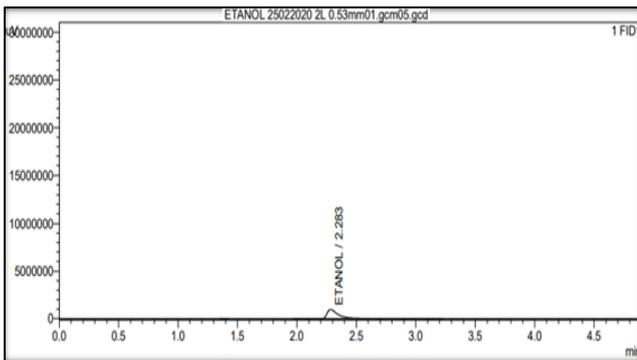
2% 12 h



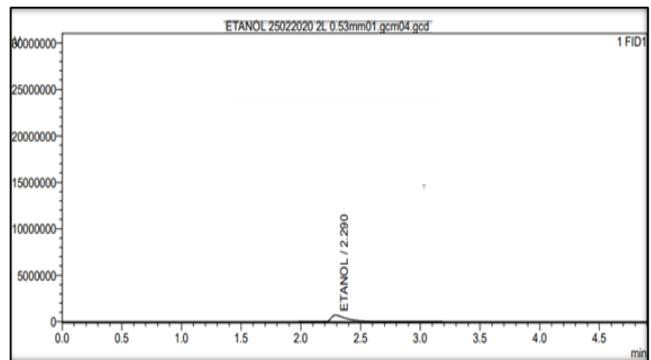
2% 18 h



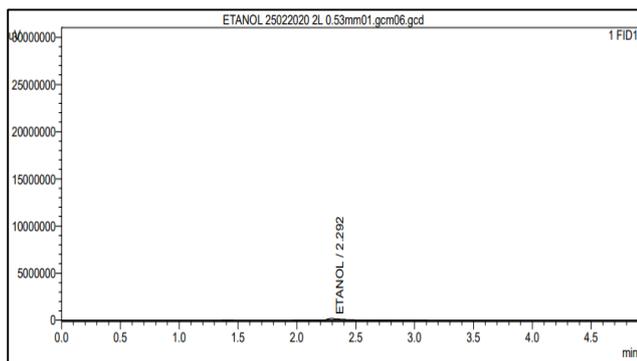
2% 24 h



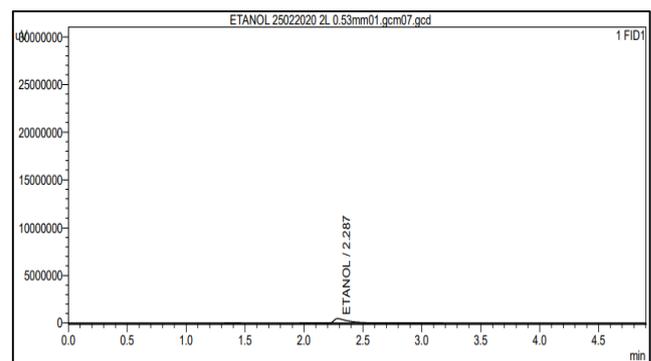
2% 30 h



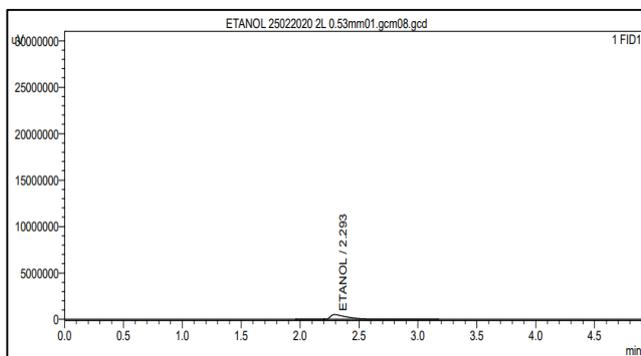
4% 12 h



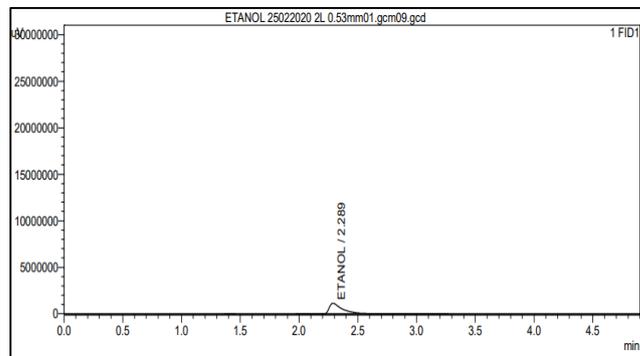
4% 18 h



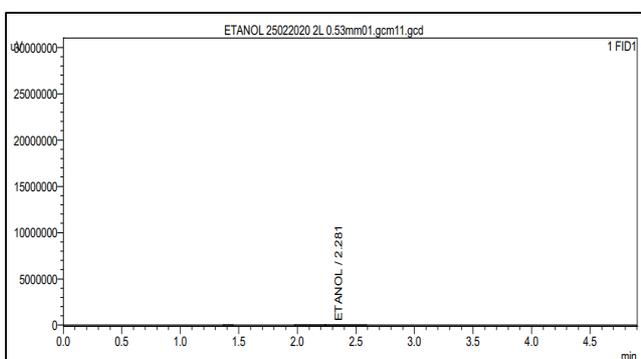
4% 24 h



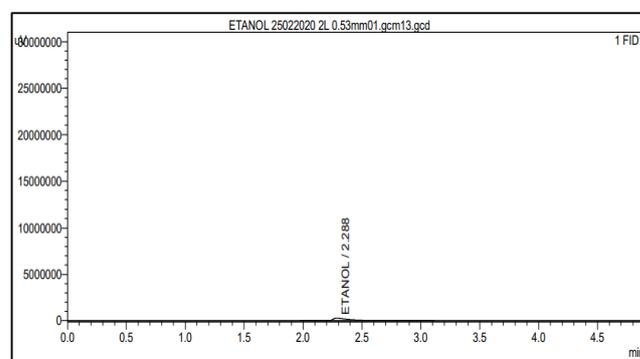
4% 30 h



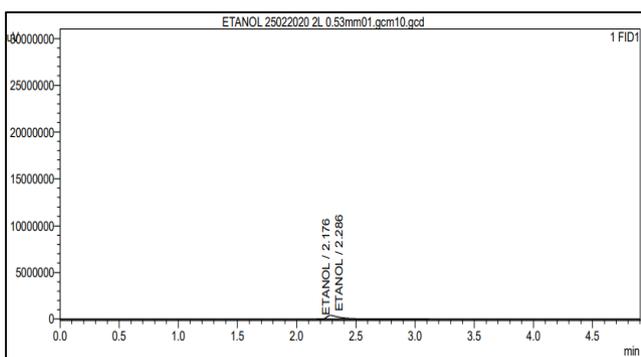
6% 12 h



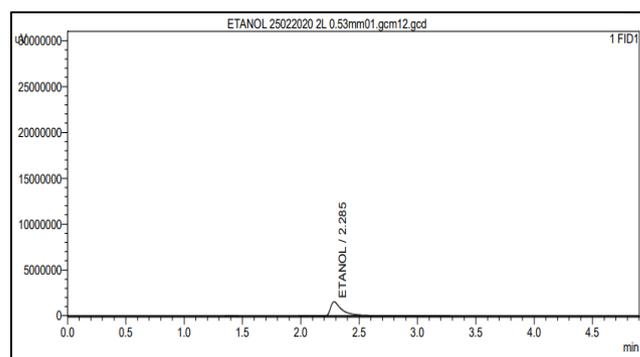
6% 18 h



6% 24 h

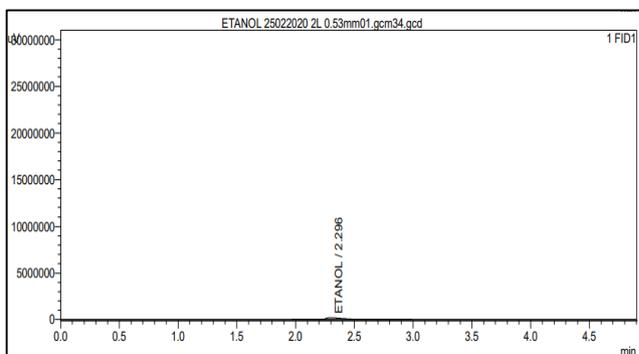


6% 30 h

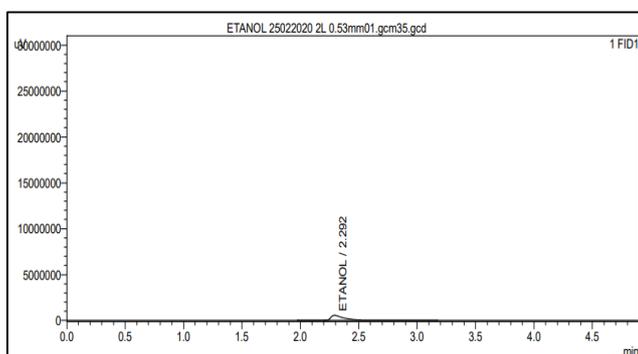


CROMATOGRAMAS MUCÍLAGO

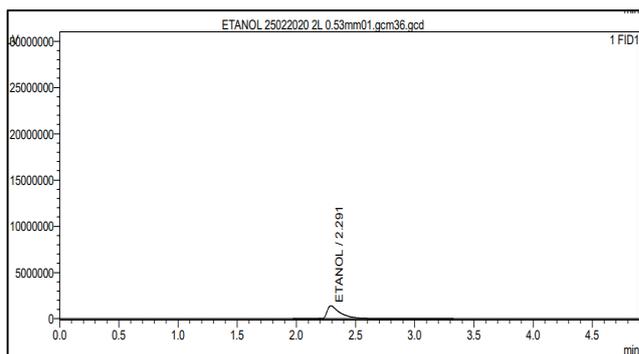
2% 12 h



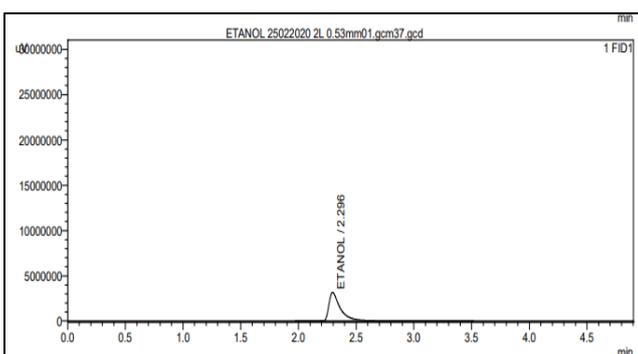
2% 18 h



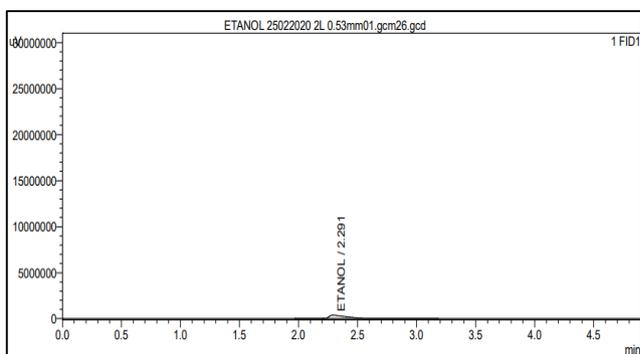
2% 24 h



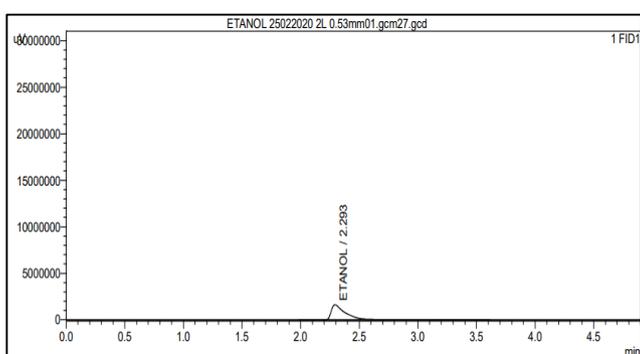
2% 30 h



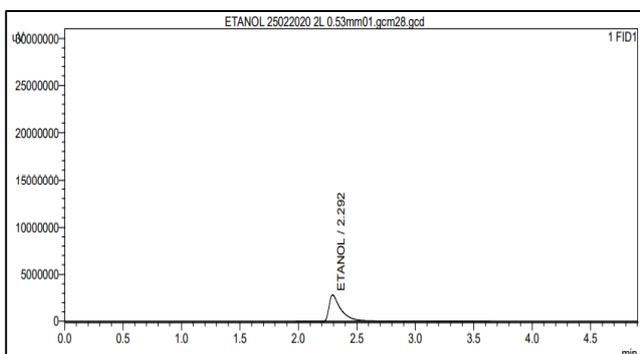
4% 12 h



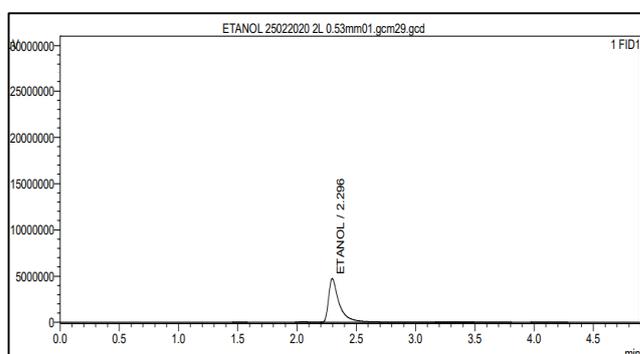
4% 18 h



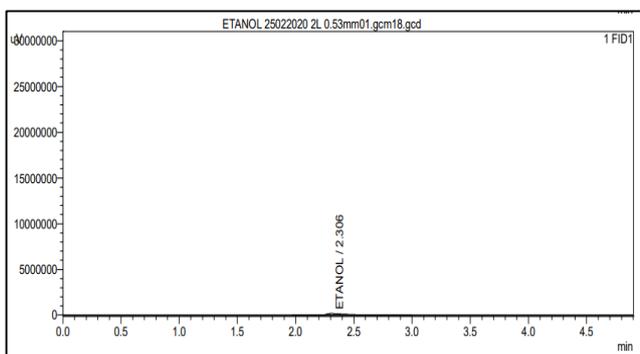
4% 24 h



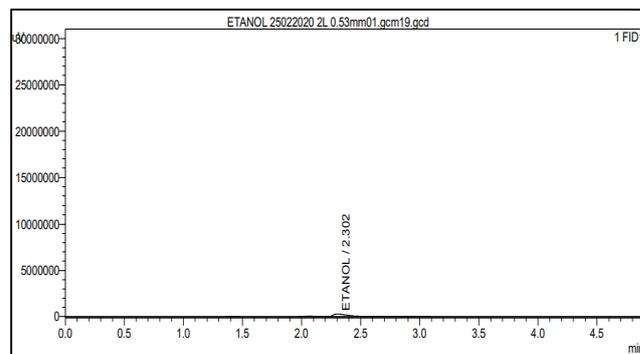
4% 30 h



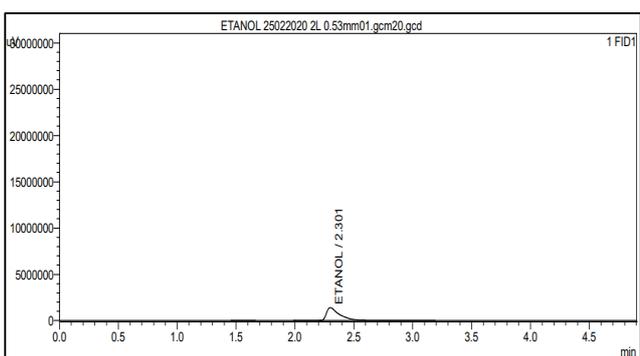
6% 12 h



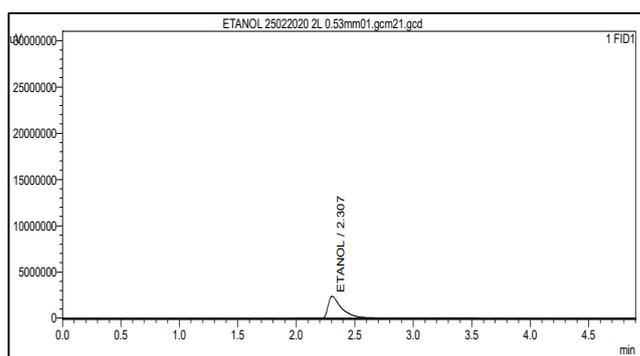
6% 18 h



6% 24 h

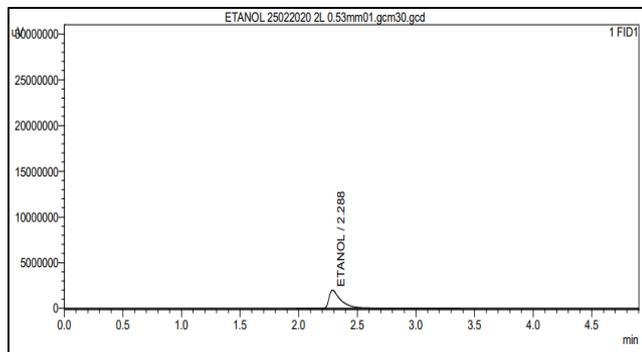


6% 30 h

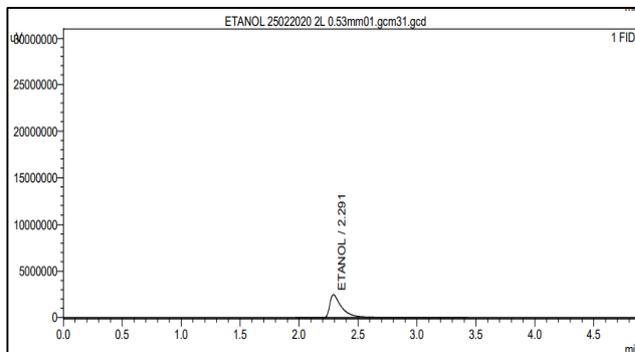


CROMATOGRAMAS MEZCLA

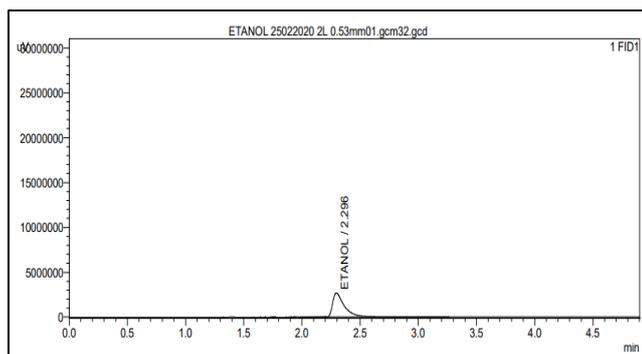
2% 12 h



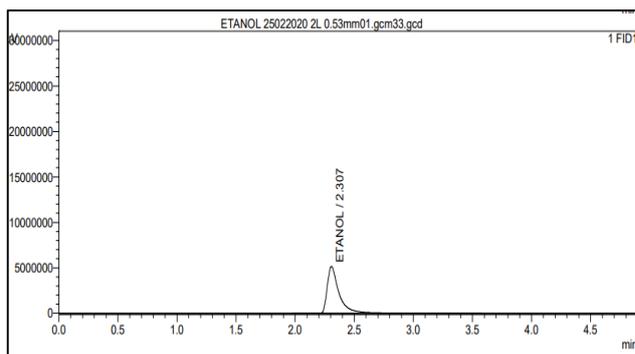
2% 18 h



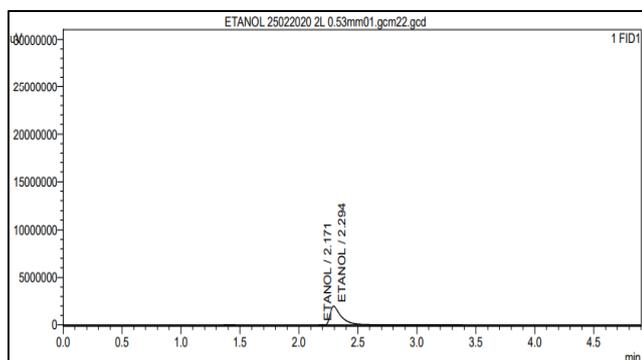
2% 24 h



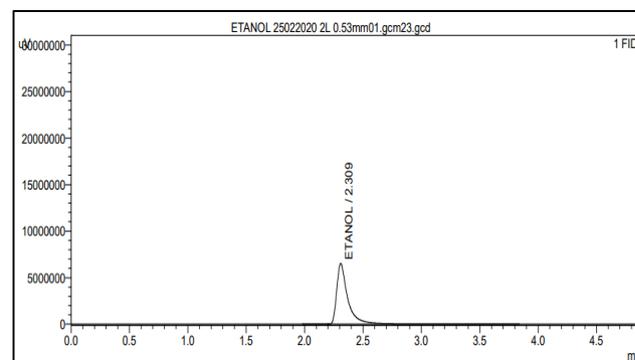
2% 30 h



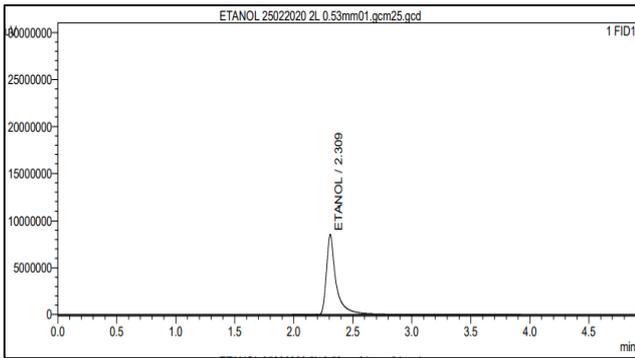
4% 12 h



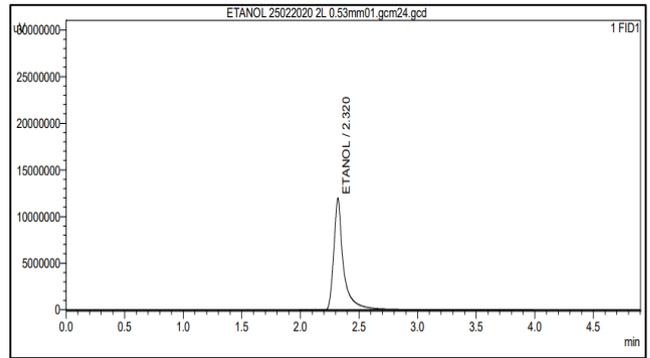
4% 18 h



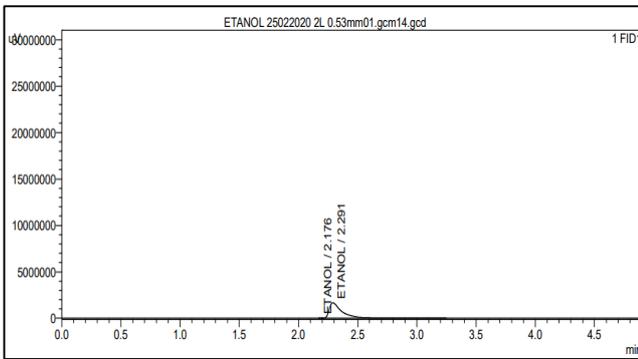
4% 24 h



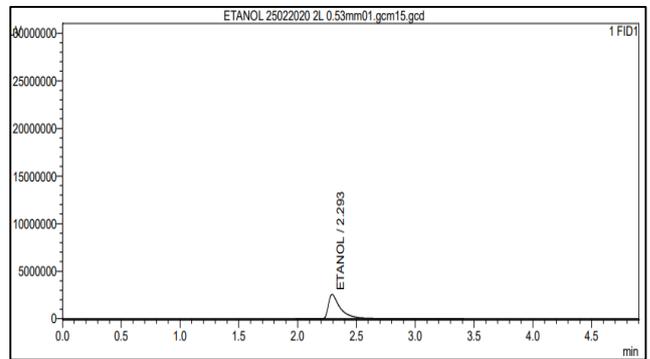
4% 30 h



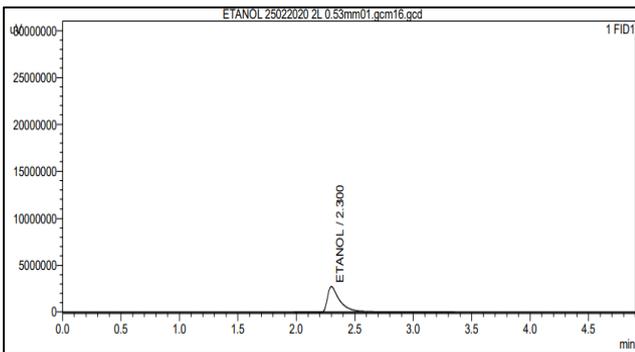
6% 12 h



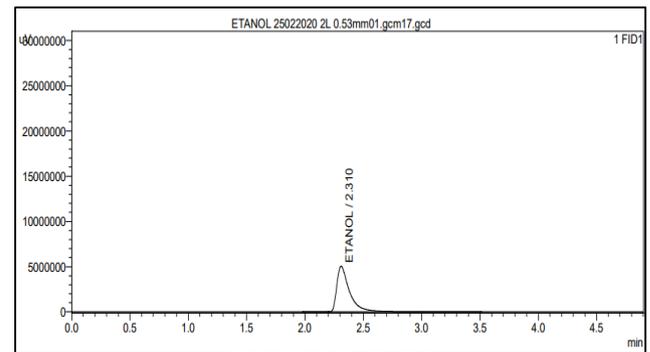
6% 18 h



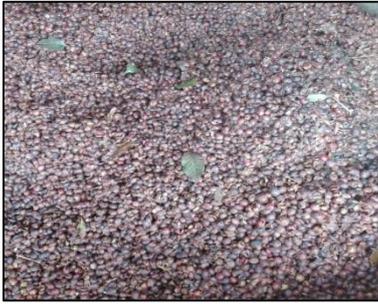
6% 24 h



6% 30 h



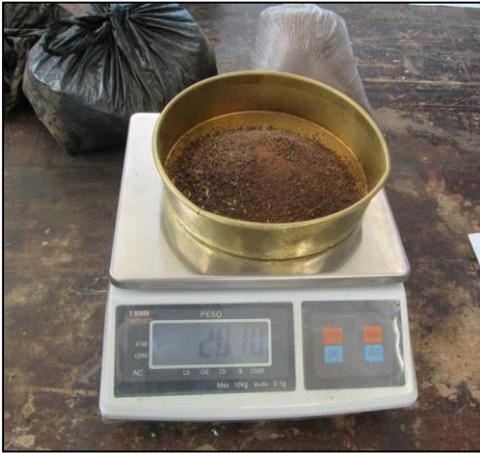
FOTOGRAFÍAS DEL DESARROLLO METODOLÓGICO



Extracción de la pulpa de café



Secado de la pulpa de café



Tamizado de la pulpa de café



Medición de la humedad



Hidrólisis de la pulpa de café



Obtención del jarabe de la pulpa de café.



Adecuación del pH



Centrifugación del jarabe de pulpa



Caracterización de la pulpa de café



Caracterización con el reactivo de Fehling



Extracción del mucílago



Mucílago fresco



Fermentación en equipo Shaker



Destilación