

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El Ron es el producto obtenido de la destilación de productos provenientes de la fermentación alcohólica del jugo de caña de azúcar o melaza, madurado en recipientes de roble cuya graduación alcohólica debe tener como mínimo 34° GL (NB: 324012, 2003).

Según los historiadores, el primer ron de melaza fue producido en 1637 por un emigrante holandés llamado Piert Bloer en la isla de Barbados (Disevil, 2018). Además, se destaca que el ron fue un producto económico de importancia entre los siglos XVII y XVIII, ya que era producido en las Antillas y exportado hacia Europa. También, fue usado como método de pago en el tráfico de esclavos africanos y el negocio de pieles con indios de América del Norte. En 1763, había 150 destilerías en Nueva Inglaterra, que se abastecían principalmente de las Antillas Francesas. Alrededor del 80% de la producción de ron era consumido en las colonias norteamericanas, solamente el resto era enviado a África y Europa (José Marcano, 2009). A finales del siglo XIX, Facundo Bacardi adquiere una destilería en Cuba en donde crea un nuevo tipo de ron utilizando levaduras cultivadas para la fermentación. Además implementa la filtración de carbón activado en el ron, para eliminar las impurezas que otorgaban el mal olor y sabor (Sntgcuba, 2016).

Las marcas productoras de ron en el caribe son las que mayormente dominan el mercado productor y exportador mundial del ron, en donde destacan marcas reconocidas y prestigiosas como Havana Club, Bacardi, Barceló, Cacique, Abuelo, Santa Teresa, Mount Gay, Brugal, Negrita, Flor de caña, etc. En la actualidad, Puerto Rico es el país que más ron produce de todo el mundo. Lugar en donde es la base de la producción del conocido Ron Bacardí (Licoret, 2019).

Respecto a la producción en Bolivia, se tiene conocimiento que la empresa de bebidas el Viejo Roble elabora sus propios rones en botellas de 250 ml en las variedades dorado

y añejo que cuentan con su registro sanitario. (Viejo Roble, 2017). Además, el ingenio azucarero de Guabirá de Santa Cruz lanza al mercado su propia línea de rones, llamados “Kayana”. Ofreciendo dos variedades del producto que se diferencian por el tiempo de añejamiento (IAGSA, 2017).

A pesar de existir una producción nacional de ron en Bolivia, esta no logra cubrir la demanda de la población consumidora de este aguardiente. En 2019, Bolivia importó una cifra de 46172 toneladas de bebidas del extranjero, en las cuales se pagó una cifra de 44 millones de dólares (ver figura 1-1), de los cuales 19,8 millones son destinados a la compra de aguardientes. La importación de ron en Bolivia costó alrededor de ocho millones de dólares, siendo la segunda bebida alcohólica más importada en el país, representando un 18% del total que se gasta en importación de bebidas, por detrás de la cerveza que se encuentra en primer lugar (IBCE, 2020).

Figura 1-1 Evolución de las importaciones de bebidas en Bolivia en la última década



Fuente: IBCE, 2019

El Ron producido e importado por Bolivia se comercializa en supermercados, tiendas de barrio, licorerías, bares, restaurantes y discotecas. Su venta en el país queda prohibida a personas menores de 18 años. Actualmente, el ron es uno de los licores con más aceptación en el mercado y que tiene variaciones fascinantes que llaman la atención del consumidor. En su mayoría, el ron se consume puro con cubitos de hielo

o mezclado con otras bebidas sin alcohol para la elaboración de cocteles como el “cuba libre”, “mojito” y el “daiquiri”.

Otras aplicaciones que tiene el ron es que es utilizado para preparar salsas para postres y otros platos. También se emplea para dar sabor al tabaco a la hora de elaborar un puro. (J Marcano, 2009)

Las características más importantes que determinan la calidad de un buen ron son: el añejamiento, el origen, el aroma y el sabor.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Actualmente, el ron es la segunda bebida alcohólica más importada en Bolivia y cuenta con una demanda que crece cada año, esto en consecuencia trae pérdidas de divisas al país. Con este proyecto se pretende presentar al mercado un producto nacional elaborado con materia prima local, con el fin de satisfacer la demanda existente en la sociedad. También, se pretende aportar a la iniciativa de proyectos de emprendimiento productivo, que a futuro puedan crear riqueza y empleo en esta región.

En nuestra región históricamente se han producido vinos y singanis, bebidas alcohólicas provenientes de la uva, por lo tanto se tiene desarrollados los conocimientos y la tecnología para los procesos de fermentación y destilación. Estos conocimientos pueden ser empleados en la sofisticación del ron y con ello hacer el producto de mejor calidad y poder así competir con los rones del mercado internacional, apuntando en un futuro a la exportación.

En el departamento de Tarija, se cuenta con una amplia superficie de cultivo de caña de azúcar y próxima a estas se encuentra el ingenio azucarero. Al elaborar el ron se puede ayudar a diversificar la industria azucarera dándole un valor agregado al residuo de la cristalización de la azúcar, la melaza. Además, en la realización de este trabajo de investigación se pretende identificar las condiciones óptimas de elaboración de ron para utilizar de una forma más adecuada y controlada los recursos energéticos empleados en el proceso.

Con este proyecto, se pretende aplicar y demostrar todos los conocimientos adquiridos en mi formación universitaria para elaborar un producto demandado en la sociedad y contribuir a la comunidad universitaria con los estudios realizados en este trabajo. Los resultados de la investigación servirán también, como aporte técnico y científico para futuras investigaciones.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Elaborar (a escala laboratorio) ron joven a partir de la melaza producida en el ingenio azucarero de Bermejo, Tarija.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar la materia prima: melaza de caña de azúcar, generada en el Ingenio Azucarero de Bermejo del departamento de Tarija, para la elaboración del ron joven.
- Seleccionar y diseñar el proceso tecnológico y experimental para la elaboración del ron joven.
- Ejecutar la fase experimental del proceso tecnológico para la elaboración de ron joven.
- Determinar los valores óptimos de las variables del proceso para la elaboración de ron joven.
- Caracterizar el ron joven obtenido experimentalmente a partir de la melaza de IABSA.
- Realizar el balance de materia para la obtención de Ron.
- Determinar el costo de producción y el rendimiento de la elaboración del ron joven.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 HISTORIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

El origen exacto de la caña de azúcar es todavía materia de investigación, sin embargo, se considera que proviene del archipiélago de Melanesia en Nueva Guinea de donde posteriormente se difundió a las islas vecinas, China e India. La dispersión posterior ocurrió hacia Hawái, África Oriental, Madagascar, el medio oriente y el Mediterráneo, y hacia las islas del atlántico. En 1493, Cristóbal Colón, en su segundo viaje a América, la trajo a las islas del caribe, particularmente a la isla de La Española, la cual corresponde hoy a la República Dominicana y Haití, de donde se difundió posteriormente a Cuba, Puerto Rico, México, Colombia y Perú. Posteriormente, en Brasil fue introducida por los portugueses (G. Osorio, 2007).

Desde el surgimiento y expansión del cultivo de caña de azúcar, los productores y los dueños de los medios de producción han estado estrechamente ligados a las fuerzas económicas mundiales y, por ende, han influido en la modelación del mundo. Ningún cultivo ha tenido tanto impacto como el de la caña de azúcar y es, según la UNESCO, el cultivo agrícola más importante del planeta. Esta expansión del cultivo ha arrastrado mano de obra, tecnología, hábitos, historia, formas de organización y relaciones sociales de producción (F. Hernández, 2013).

2.2 TAXONOMÍA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

La caña de azúcar se ubica en la siguiente clasificación botánica:

Tabla II-1 Taxonomía de la caña de azúcar.

Reino	Vegetal
Phylum	Telemophytae
División	Tracheophytae
Sub división	Anthophyta
Clase	Angiospermae
Sub clase	Monocotyledoneae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Sub familia	Panicoideae
Tribu	Andropogoneae
Nombre científico	Saccharum officinarum L.
Nombre común	Caña de azúcar

Fuente: Herbario Universitario (T.B.), 2022 (ver Anexo IV)

2.3 MORFOLOGÍA DE LA CAÑA DE AZUCAR

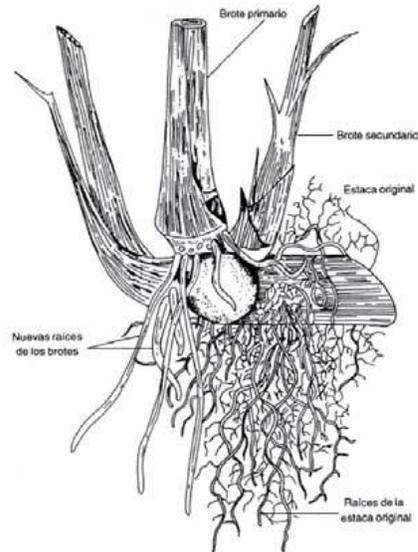
2.3.1 Sistema radical

Constituye la parte subterránea del eje de las plantas; es el órgano sostén y el medio para la absorción de nutrientes y agua del suelo. En la planta de caña se distinguen dos tipos de raíces:

Raíces primordiales: corresponden a las raíces de la estaca original de siembra; son delgadas, muy ramificadas y su periodo de vida llega hasta los tres meses de edad.

Raíces permanentes: brotan de los anillos de crecimiento de los nuevos brotes, son numerosas, gruesas, de rápido crecimiento y su proliferación avanza con el desarrollo de la planta. Su cantidad, longitud y edad dependen de la variedad y de las condiciones de suelo y humedad. La raíz de la caña es fasciculada. (G. Osorio, 2007)

Figura 2-1 Sistema radicular de la caña de azúcar.

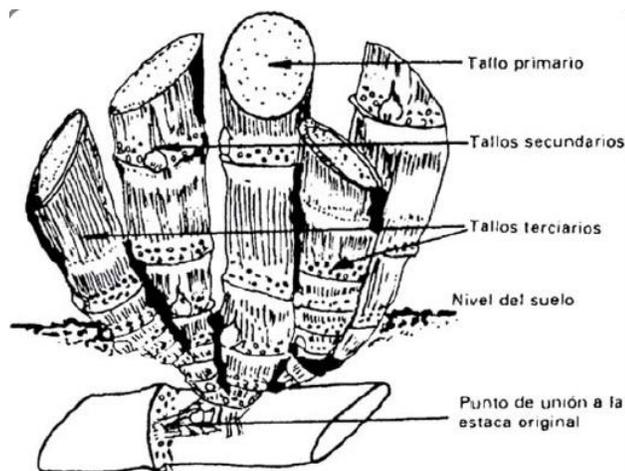


Fuente: G. Osorio, 2007

2.3.2 El tallo

Es el órgano más importante de la planta de la caña, puesto que allí se almacenan los azúcares; el número, el diámetro, el color y el hábito de crecimiento dependen de la variedad. La longitud de los tallos, en gran parte depende de las condiciones ambientales de la zona y del manejo que se le dé a la variedad. Los tallos pueden ser primarios, secundarios o terciarios. Las partes constitutivas del tallo se presentan en la figura 2-2 (G. Osorio, 2007).

Figura 2-2. Tallos de la caña y su diferenciación.

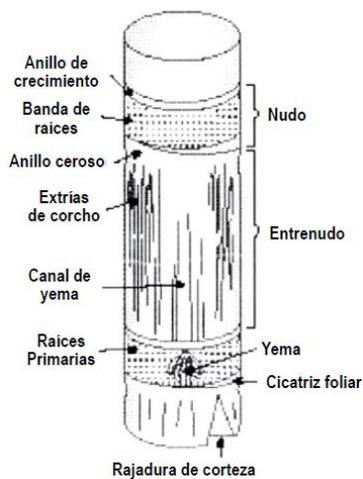


Fuente: G. Osorio, 2007

2.3.2.1 El nudo

Es la porción dura y más fibrosa del tallo que separa dos entrenudos vecinos. El nudo, a su vez, se encuentra conformado por el anillo de crecimiento, la banda de raíces, la cicatriz foliar, el nudo, la yema y el anillo ceroso. La forma de la yema y su pubescencia son diferentes en cada variedad y, por tanto, muy usados para su identificación (G. Osorio, 2007).

Figura 2-3 Componentes morfológicos que identifican el nudo y el entrenudo del tallo.

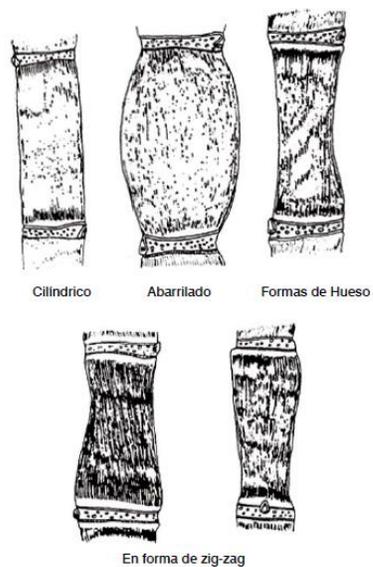


Fuente: G. Osorio, 2007

2.3.2.2 El entrenudo

Es la porción del tallo localizada entre dos nudos. El diámetro, el color, la forma y la longitud cambian con la variedad. El color es regulado por factores genéticos, cuya expresión puede ser influenciada por condiciones del medio ambiente. Sus formas más comunes son: cilíndrico, abarrilado, constreñido, coneiforme y curvado (G. Osorio, 2007).

Figura 2-4 Formas del entrenudo



Fuente: G. Osorio, 2007

2.3.3 Hoja

Se origina en los nudos y se distribuye en posiciones alternas a lo largo del tallo. Cada hoja está formada por la lámina foliar y por la vaina y la yagua. La unión entre estas dos partes se conoce con el nombre de lígula, en cuyo extremo existe una aurícula con pubescencia variable.

El color de las hojas, dependiendo de la variedad, puede variar desde verde claro a verde más oscuro. La longitud y el ancho dependen de la variedad (G. Osorio, 2007).

Figura 2-5 Partes de la hoja de la caña



Fuente: G. Osorio, 2007

2.3.4 La flor

Es una inflorescencia en panícula sedosa en forma de espiga. Las espiguillas dispuestas a lo largo de un raquis contienen una flor hermafrodita con tres anteras y un ovario con dos estigmas. Cada flor está rodeada de pubescencias largas que le dan a la inflorescencia un aspecto sedoso. La floración ocurre cuando las condiciones ambientales de fotoperiodo, temperatura y disponibilidad de agua y niveles de nutrientes en el suelo son favorables (G. Osorio, 2007).

2.4 PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR

2.4.1 Producción Mundial

La caña de azúcar necesita de un clima tropical para su crecimiento, por lo que los países tropicales son los principales productores de este cultivo.

El país productor más grande es Brasil, que aumentó su participación en el total mundial del 13% en 2000 al 22 por ciento en 2017, en segundo lugar se encuentra la India (Mercado azúcar, 2020).

Tabla II-2 Lista de los principales países en producción de caña de azúcar

País	Producción (millones de Toneladas)	Superficie de cultivo (millones de Ha.)
Brasil	768.68	10.23
India	348.45	4.95
China	123.06	1.67
Tailandia	87.47	1.34
Pakistán	65.45	0.78
México	56.45	0.45
Colombia	36.95	0.42
Australia	34.40	0.45
Guatemala	33.53	0.26
Estados Unidos	29.93	0.37

Fuente: Atlas Big, 2018

2.4.2 Producción de caña en Bolivia

En siete departamentos de Bolivia se cultiva caña de azúcar, a excepción de Oruro y Potosí, siendo Santa Cruz y Tarija los departamentos de mayor producción. El principal productor de caña de azúcar es Santa Cruz, con el 92 %, seguido de Tarija con el 6%, Beni 1% y el resto de los departamentos con un 1% (MDP y EP, 2013).

Los cinco ingenios azucareros de Santa Cruz, Guabirá, Unagro, Aguaí, San Aurelio y La Bélgica, lograron moler 6.834.074 toneladas de caña y transformar 10.794.154 quintales de azúcar al cabo de la zafra en la gestión del 2018 (El Deber, 2018). En la misma campaña, el Ingenio azucarero de Bermejo logro moler aproximadamente 270.000 toneladas de caña y producir más de medio millón de quintales de azúcar (El País, 2018). Con las cifras antes mencionadas, se afirma que en el año 2018 la producción de caña de azúcar en Bolivia superó las siete millones de toneladas.

2.5 MELAZA

2.5.1 Definición.

La denominación melaza se aplica al efluente final obtenido en la preparación del azúcar mediante una cristalización repetida. El proceso de evaporación y cristalización es usualmente repetido tres veces hasta el punto en el cual el azúcar invertido y la alta viscosidad de las melazas ya no permitan una cristalización adicional de la sacarosa (Fajardo y Sarmiento, 2007).

2.5.2 Composición.

La composición de las melazas es muy heterogénea y puede variar considerablemente dependiendo de la variedad de caña de azúcar, suelo, clima, periodo de cultivo, eficiencia de la operación de la fábrica, sistema de ebullición del azúcar, tipo y capacidad de los evaporadores, entre otros. Por otro lado, la melaza de caña se caracteriza por tener grados Brix o sólidos disueltos entre el 68 y 75 % y un pH de 5.0 a 6.1 (L. Jeri, 2015).

Tabla II-3 Composición de la melaza de caña de azúcar.

Componentes	Constituyentes	Contenido (p/p)
Componentes mayores	Materia seca	78%
	Proteínas	3%
	Sacarosa	60 – 63 % p/p
	Azúcares reductores	3 – 5 % p/p
	Sustancias disueltas	4 – 8 % p/p
	Agua	16%
	Grasas	0,40%
	Cenizas	9%
Componentes minerales	Calcio	0,74%
	Magnesio	0,35%
	Fosforo	0,08%
	Potasio	3,67%
Contenido de aminoácidos	Glicina	0,10%
	Leucina	0,01%
	Lisina	0,01%
	Treonina	0,06%
	Valina	0,02%
Contenido de Vitaminas	Colina	600 ppm
	Niacina	48,86 ppm
	Ácido pantoténico	42,90 ppm
	Piridoxina	44 ppm

Fuente: Fajardo y Sarmiento, 2007

2.5.3 Clasificación.

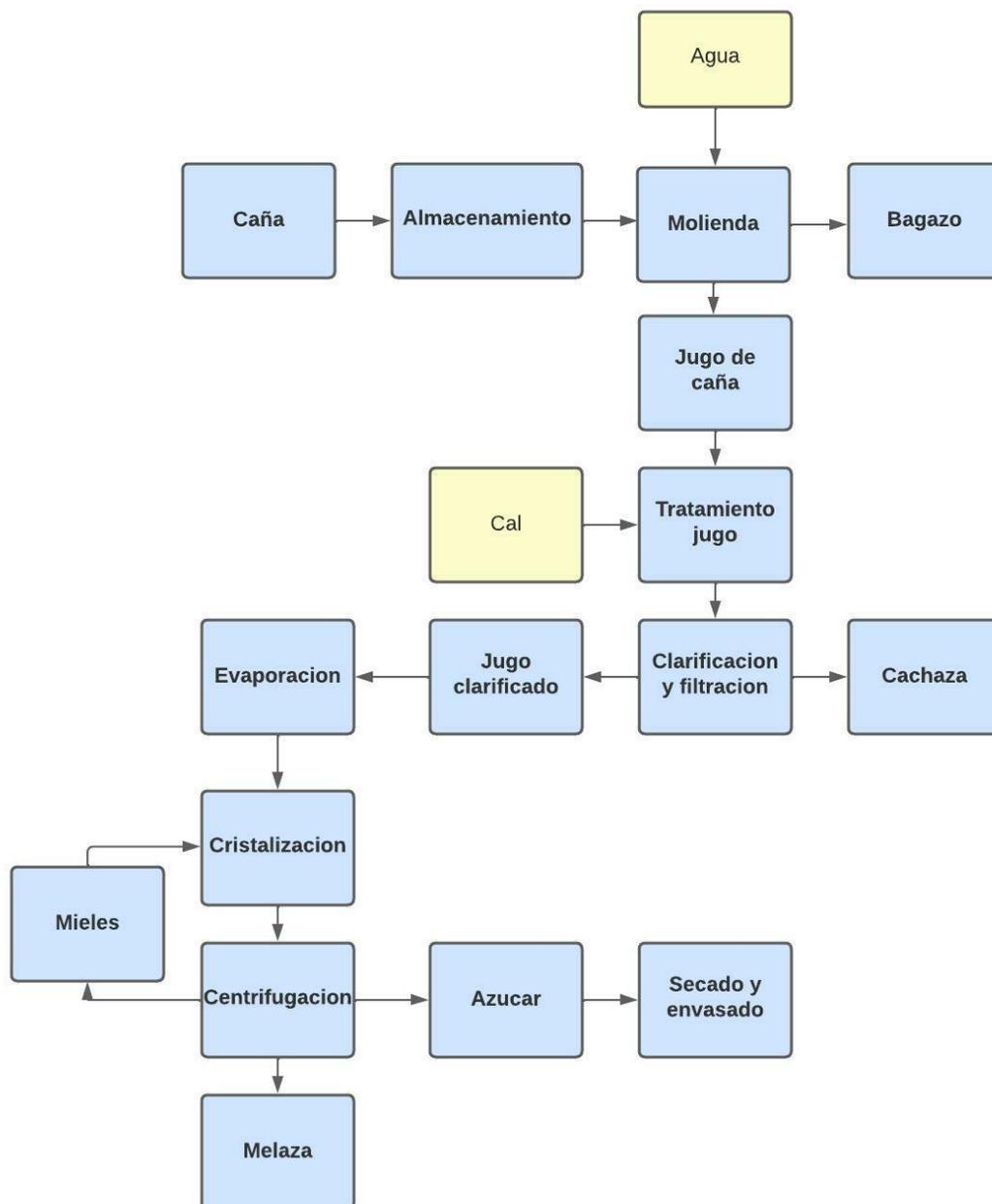
La Asociación Americana de Control Oficial de Alimentos (AAFCO), recomienda diferentes clasificaciones para las melazas, según el azúcar total y el contenido de humedad, así:

- Melaza Superior Blackstrap: Melaza de caña que contiene 23.4% de agua o menos, y 53.5% o más de azúcares totales.
- Melaza Blackstrap: Melaza compuesta por 23.5% a 26.4% de agua y 48.5% a 53.5% de azúcares totales (Fajardo y Sarmiento, 2007).

2.5.4 Proceso de Obtención.

Las melazas se obtienen como un subproducto final en la elaboración del azúcar de caña. Una breve reseña de los principales pasos del proceso, se encuentran resumidos en la Figura 2-6.

Figura 2-6 Proceso de obtención de melazas.



Fuente: Fajardo y Sarmiento, 2007

2.5.4.1 Almacenamiento.

La caña después de ser cortada es llevada a los patios de almacenamiento en el ingenio. Este almacenamiento no debe ser muy prolongado, puesto que el efecto de la radiación solar se disminuye el rendimiento del jugo, como también en su calidad; por este motivo, la molienda debe realizarse en el menor tiempo posible después de haber sido cortada. Dentro de lo posible debe procurarse que este tiempo no sobrepase las 48 horas para evitar pérdidas (Fajardo y Sarmiento, 2007).

2.5.4.2 Molienda y extracción del jugo.

Estas dos operaciones se llevan a cabo en una forma continua, por lo cual generalmente se conoce bajo el nombre de Extracción del jugo. Este proceso, se lleva a cabo en una serie de cuchillas desmenuzadoras y molinos extractores. La caña es desmenuzada con cuchillas giratorias y desmenuzadoras para facilitar una mejor extracción del jugo. La caña desmenuzada pasa a los molinos donde se efectúa el proceso de extracción del jugo. Luego, esta caña es rociada con agua y jugos claros a medida que sale de cada molino, en esta forma se diluye el azúcar que queda en el bagazo a la salida de cada molino y se obtiene un mayor rendimiento en la extracción. De esta forma, se extrae en el jugo más del 90% del azúcar que hay en la caña, quedando una parte remanente en el bagazo, el cual va a las calderas como combustible (Fajardo y Sarmiento, 2007).

2.5.4.3 Tratamiento del jugo.

El jugo obtenido de los molinos es pesado y sometido a un tratamiento por medio de cal y calor. La acidez del jugo es neutralizada con cal y luego se eleva la temperatura hasta su punto de ebullición. Posteriormente, se eliminan los gases presentes en el jugo para su transporte a los clarificadores en flujo laminar.

2.5.4.4 Clarificación y filtración.

Se lleva a cabo en sedimentadores de gran tamaño, cuyo objetivo es separar las impurezas que trae consigo el jugo por decantación. El lodo que se obtiene se somete

a filtración en filtros al vacío y el jugo filtrado se recicla antes de la adición de cal. El jugo clarificado ingresa a la siguiente etapa.

2.5.4.5 Evaporación.

Se lleva a cabo en varias cajas de evaporación dispuestas en serie, donde la última caja está conectada al vacío para que la ebullición se realice a temperaturas más bajas y evitar la caramelización del azúcar. El producto concentrado que se obtiene de la evaporación tiene el nombre de “melado”, que es la materia prima para la cristalización.

2.5.4.6 Cristalización.

Se realiza en tachos al vacío de efecto simple y a presión reducida. El jarabe o las aguas madres de cristalizaciones anteriores (mieles), se evaporan hasta su saturación de azúcar; en este punto, los granos son separados de la masa en ebullición y sirven como núcleo para la formación de cristales. El tacho es cargado a medida que el agua se evapora y su contenido de azúcar es depositado sobre los cristales presentes sin la formación de cristales adicionales. En este punto, la mezcla de cristales y jarabe, constituye una masa densa denominada “Templa” (Fajardo y Sarmiento, 2007).

2.5.4.7 Centrifugación.

La Templa se descarga sobre un mezclador y de allí pasa a centrífugas verticales de alta velocidad. Los cristales de azúcar son retenidos en la centrífuga y pueden ser lavados con agua si se desea. Las aguas madres que se separan, se denominan mieles de primera. Completada la centrifugación, se remueve el azúcar quedando la máquina lista para una nueva carga. El azúcar obtenido pasa a la sección de secado, para su posterior clasificación y envasado, mientras que las mieles se reciclan a un nuevo evaporador y de ahí a la centrífuga, donde se obtiene el azúcar y las mieles de segunda. Estas mieles se someten a un proceso similar a los anteriores, obteniéndose en esta oportunidad azúcar de semilla y melaza. Las melazas han sido consideradas en los ingenios como producto sobrante y al cual son muy pocos los usos que se le dan (Fajardo y Sarmiento, 2007).

2.5.5 Usos de la melaza.

Productos alimenticios: La melaza se emplea en la preparación de ciertos alimentos hechos con cereales, también para el consumo directo del ganado como fuente de carbohidratos y como agente aglutinante. Además, se utiliza para la obtención de panela, azúcar refinada y otros productos de fermentación, como por ejemplo la levadura para panificación.

Técnicos e industriales: Se emplea la melaza como materia prima en la elaboración de alcohol etílico, butírico, i-butanol, ácido acético, cítrico, orgánicos, acetona, ron, levadura. También, como deshidratante en los proceso de clarificación de los minerales, como combustible y para eliminar incrustaciones y herrumbre (L. Jeri, 2015).

2.5.6 Pretratamiento de la melaza antes de la fermentación.

Antes de realizar el proceso de fermentación alcohólica, es necesario someter la melaza a tratamientos previos para acondicionarla.

2.5.6.1 Esterilización.

La esterilización se define como la destrucción completa de toda forma de vida microbiana incluyendo las esporas bacterianas, y los priones siendo estas últimas las formas de vida con más alta resistencia a los métodos de esterilización (N. Moya, 2017).

Las melazas pueden contener microorganismos que pueden ser nocivos y perjudiciales para la fermentación. El más común es la bacteria *Leuconostoc mesenteroides*, la cual polimeriza las moléculas de sacarosa en *dextranos* no fermentables (S. Garzón, 2009).

2.5.6.2 Dilución.

La altísima concentración de azúcares y sales presentes en las melazas impiden que los microorganismos puedan fermentarlas, debido a la gran presión osmótica que generan sobre sus paredes celulares. Asimismo, las melazas son altamente viscosas, y su manipulación es difícil en estas condiciones. Por estas razones, es necesario diluir las

melazas agregando agua hasta obtener diluciones de 25° Brix o menores; a valores mayores se tiene el riesgo de inicios lentos en la fermentación (S. Garzón, 2009).

2.5.6.3 Adición de nutrientes.

En ocasiones es necesario añadir algunos elementos adicionales, con el fin de complementar los nutrientes necesarios para los microorganismos que realizarán la fermentación. Para las melazas de caña de azúcar, es necesario añadir pequeñas dosis de nitrógeno y fósforo. Para producción de alcohol carburante, el nitrógeno puede añadirse en forma de urea. Los requerimientos en fósforo pueden cubrirse con fosfato de diamonio, con la correspondiente disminución de urea o la fuente de nitrógeno usada (S. Garzón, 2009).

2.6 El Etanol.

El etanol o alcohol etílico es el producto químico orgánico sintético más antiguo usado por el hombre, se presenta como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78 °C. Además, es el componente activo esencial de las bebidas alcohólicas. Puede obtenerse a través de dos procesos de elaboración: la fermentación de los azúcares contenidos en distintas frutas y la destilación (S. Garzon, 2009).

2.6.1 Contracción volumétrica etanol-agua.

Al preparar una mezcla de alcohol etílico con agua, se produce un fenómeno de contracción y el volumen final no se corresponde a la suma de los volúmenes de los líquidos mencionados anteriormente. Esto es debido a la acción de las fuerzas intermoleculares como el puente de Hidrógeno y la fuerza intramolecular del enlace covalente del agua. Para corregir los errores de la contracción se recurre al uso de tablas para el cálculo de las diferentes diluciones de alcohol que se desea preparar (I. Centeno, 2016).

Las tablas más utilizadas en los cálculos de dilución de alcohol son las de Gay Lussac.

Tabla II-4. Tabla de dilución de alcoholes Gay Lussac.

		CONCENTRACIÓN DE ALCOHOL INICIAL													
		100°	99°	98°	97°	96°	95°	90°	85°	80°	75°	70°	65°	60°	50°
CONCENTRACIÓN DE ALCOHOL FINAL	95°	6,5	5,15	3,83	2,53	1,25									
	90°	13,25	11,83	10,43	9,07	7,73	6,41								
	85°	20,54	19,05	17,58	16,15	14,73	13,33	6,56							
	80°	28,59	27,01	25,47	23,95	22,45	20,95	13,79	6,83						
	75°	37,58	35,9	34,28	32,67	31,08	29,52	21,89	14,48	7,2					
	70°	47,75	45,98	44,25	42,54	40,85	39,18	31,05	23,14	15,35	7,64				
	65°	59,37	57,49	55,63	53,81	52	50,22	41,53	33,03	24,66	16,37	8,15			
	60°	72,82	70,8	68,8	65,85	64,92	63	53,65	44,48	35,44	26,47	17,58	8,76		
	55°	88,6	86,42	84,28	82,16	80,06	77,99	67,87	57,9	48,07	38,32	28,63	19,02	9,47	
	50°	107,4	105,1	102,8	100,4	98,15	95,89	84,71	73,9	63,04	52,43	41,73	31,25	20,47	
	45°	130,3	127,7	125,1	122,6	120,1	117,6	105,3	93,3	81,38	69,54	57,78	46,09	34,46	11,41
	40°	158,6	155,7	152,8	150	147,2	144,5	130,8	117,3	104	90,76	77,58	64,48	51,43	25,55
	35°	194,6	191,4	188,2	185	181,9	178,7	163,3	148	132,9	117,8	102,8	87,93	73,08	43,59
	30°	242,4	238,7	235	231,3	227,7	224,1	206,2	188,6	171,1	153,6	136	118,9	101,7	67,45
	25°	308,9	304,5	300,2	295,9	291,6	287,3	266,1	245,2	224,3	203,6	182,8	162,2	141,7	100,7
	20°	408,5	403,1	397,8	392,5	387,2	381,9	355,8	329,8	304	278,3	252,6	227	201,4	150,5
15°	574,8	567,4	560,5	553,6	546,6	539,7	505,3	471	436,9	402,8	368,8	334,9	301,1	233,6	
10°	907,1	896,7	886,4	876,1	865,2	855,2	804,5	753,7	702,9	652,2	601,6	551,1	500,5	399,9	

Fuente: Actiludis, 2013

2.7 EL RON

2.7.1 Definición

Es el producto obtenido de la destilación de mostos provenientes de la fermentación alcohólica del jugo de caña de azúcar y/o melaza, madurado en recipientes de roble cuya graduación alcohólica debe ser como mínimo de 34° Gay Lussac (NB 324012, 2003).

2.7.2 Características Organolépticas.

En la siguiente tabla, se indican las principales características organolépticas del ron.

Tabla II-5 Características Organolépticas

Característica	Descripción
Aspecto	<ul style="list-style-type: none"> • Líquido brillante • Transparente • Sin partículas en suspensión
Aroma y sabor	<ul style="list-style-type: none"> • Característico del tipo de Ron • Libre de olores y sabores extraños
Color	<ul style="list-style-type: none"> • Característico del Ron

Fuente: NTP, 2006

2.7.3 Composición Físicoquímica.

En la siguiente tabla, se indican la composición físicoquímica del Ron.

Tabla II-6 Composición físicoquímica del Ron.

Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo
Grado alcohólico a 15°C	°GL	34	40
Acidez total, expresada como ácido acético	mg/100 ml		20
Aldehídos, expresados como acetaldehído	mg/100 ml		30
Esteres, expresados como acetato de etilo	mg/100 ml		200
Furfural	mg/100 ml		1,5
Alcoholes superiores	mg/100 ml		120
Metanol	mg/1000 ml		1
Extracto seco, entre 100 y 105 °C	g/1000 ml		20
Cenizas totales	g/1000 ml		0,5

Fuente: NB 324012, 2003

2.7.4 Congéneres del Ron.

En las bebidas alcohólicas, además del etanol, pueden encontrarse aldehídos, ésteres y otros alcoholes que producen efectos tóxicos que pueden causar problemas a la salud del consumidor, si se consumen en alta dosis (G. Casco, 2005).

2.7.4.1 Metanol.

El metanol es el alcohol mayoritario encontrado en este tipo de bebidas espirituosas después del etanol. No tiene importancia en el aroma final, pero sí desde un punto de vista sanitario debido a su toxicidad. Se forma antes de la fermentación por acción de una enzima, la pectinometilesterasa (PME), sobre las pectinas presentes en las pieles, pulpa y partes sólidas de los frutos, que, por hidrólisis de las mismas, liberan metanol y ácido péptico (K. Cussianovich, 2016). Este compuesto puede afectar al sistema nervioso central, dando lugar a dolores de cabeza persistentes y alteraciones de la visión (G. Casco, 2005).

2.7.4.2 Aldehídos.

Los aldehídos son responsables en gran medida de las características aromáticas de este tipo de destilados. Entre los aldehídos saturados, el acetaldehído suele ser el más abundante, cuya concentración depende en parte del tipo de levaduras presentes en el medio y del proceso de destilación utilizado (K. Cussianovich, 2016).

2.7.4.3 Furfural.

El Furfural es un aldehído aromático, en estado puro es un líquido aceitoso incoloro, que expuesto al aire rápidamente cambia a color amarillo, presenta un riesgo de toxicidad en alta concentración. Este compuesto se forma de la deshidratación de las pentosas en medio ácido y con calor. Su concentración varía de acuerdo al tipo de bebida, al tipo de destilación y a las reacciones que presenta su proceso de añejamiento (K. Cussianovich, 2016).

2.7.4.4 Alcoholes Superiores.

Los alcoholes superiores son los que tienen más de dos átomos de carbono. Tienen sobre el organismo un efecto narcótico muy superior al del alcohol etílico. En los destilados se encuentran en proporciones muy bajas, por lo que fisiológicamente su efecto es modesto. Se forman algunos durante la fermentación alcohólica y otros como el 2-butanol se forman durante la conservación (G. Casco, 2005).

2.7.4.5 Esteres.

Son el resultado de la combinación de alcoholes y ácidos orgánicos. Además, son numerosos y favorecen las más extraordinarias sensaciones olfativas, tanto positivas como negativas. Entre ellos es mayoritario el acetato de etilo, que es útil porque inhibe la percepción de los aldehídos insaturados y exalta la percepción de algunos olores afrutados (G. Casco, 2005).

2.7.4.6 Ácidos Orgánicos.

Son compuestos orgánicos que puestos en solución acuosa, liberan iones de hidrógeno que se perciben por las papilas situadas en los bordes de la lengua como una sensación ácida. Su presencia en cantidades modestas favorece, tanto el gusto como el perfume de los aguardientes. El ácido de mayor presencia en destilados es el acético, aunque también están presentes el fórmico, el butírico, el láctico, el propiónico, el isovaleriánico, el caprónico, el cáprico y el pelargónico (G. Casco, 2005).

2.7.5 Clasificación

Existen varias maneras de clasificar los rones.

2.7.5.1 Clasificación según la materia prima

- Rones agrícolas: Estos se producen a partir de la fermentación del guarapo o jugo de caña.
- Rones industriales: Se hacen a partir de derivados del jugo de las melazas, la mayoría de los rones producidos en el mundo pertenecen a esta categoría (J. Marcano, 2009).

2.7.5.2 Clasificación según el método de destilación.

- Rones destilados en lotes (Rones destilados en alambiques). Son aquellos que se destilan en lotes y no continuamente, usando alambiques. Si provienen de la primera destilación, se llaman de "primer destilado". Pero al nivel comercial, los que abundan son los provenientes de una segunda destilación por los que se les denomina de "segundo destilado".

- Ronos destilados continuamente (Ronos destilados en columnas). Estos son los que son producidos en mayor cantidad en el mundo y se producen por destilación continua en columnas (J. Marcano, 2009).

2.7.5.3 Clasificación según el tiempo de añejamiento

- Ron Joven: Ron que se somete a un proceso de maduración de mínimo seis meses.
- Ron Añejo: Ron que se somete a un proceso de maduración mínimo de tres años.
- Ron Extra Añejo: Ron que se somete a un proceso de maduración mínimo de cinco años (L. Guarín, 2003).

2.7.6 Proceso de Elaboración.

Se prepara un mosto con melaza diluida con agua y se lleva a fermentación con levaduras mediante inoculación. Tras un periodo de tiempo que comprende de dos a siete días finaliza la fermentación y el licor alcohólico obtenido es llevado a destilación en un alambique o columna. El aguardiente resultante del proceso se deja envejecer en barriles de roble. Antes de su expedición para el consumo, se efectúan las mezclas adecuadas con agua y otros rones envejecidos para lograr una calidad homogénea y, si es necesario, se puede dar color artificialmente con caramelo. Finalmente, se clarifica a través de filtración para su posterior embotellado y etiquetado. (Alambiques, 2017).

El proceso de elaboración de ron se resume en el siguiente esquema:

Figura 2-7 Diagrama del proceso de elaboración del Ron.



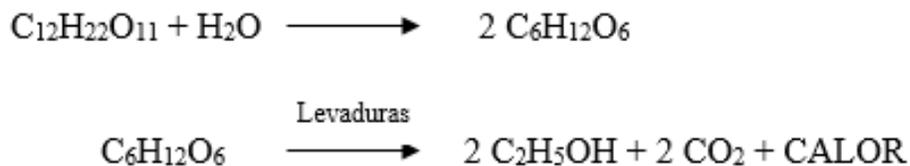
Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.8 FERMENTACIÓN

La fermentación alcohólica es un proceso anaeróbico realizado por las levaduras y algunas clases de bacterias. Estos microorganismos transforman el azúcar en alcohol etílico y dióxido de carbono. La glucosa se degrada en un ácido pirúvico. Este ácido pirúvico se convierte luego en CO₂ y etanol. Desde la antigüedad, la humanidad aprovechó este proceso para hacer productos alimenticios como lo son: el pan, la cerveza y el vino. En estos tres productos mencionados se emplea el mismo microorganismo, la levadura común o *Saccharomyces Cerevisae* (Garzón, 2018).

La reacción bioquímica que se lleva a cabo en la fermentación alcohólica se muestra a continuación:

Figura 2-8 Reacción de fermentación alcohólica.



Fuente: L. Jeri, 2015

La energía liberada en la reducción de la glucosa a etanol es de -238,8 KJ/mol. Dentro del proceso fermentativo ocurren una serie de etapas bioquímicas que dan al lugar a la obtención del etanol (H. Nieto, 2009).

2.8.1 Fermentación de la glucosa

2.8.1.1 Oxidación y producción de ATP

La degradación de la glucosa se la puede dividir en tres etapas (ver figura 2-9): La etapa I es una serie de reacciones de re-acomodación que no implica oxidación-reducción y no se libera energía. Pero conducen a la producción de dos moléculas de un compuesto intermedio, el gliceraldehido-3-fosfato. En la etapa II hay oxido-reducción, se produce un enlace fosfato alto en energía en forma de ATP y se forman dos moléculas de piruvato. En la etapa III, ocurre una segunda reacción de óxido-reducción y se forman los productos de fermentación (etanol y CO₂). La vía metabólica de la glucosa a piruvato se llama glucólisis (ruptura de la glucosa) que se llama vía de Embder-Meyerhof.

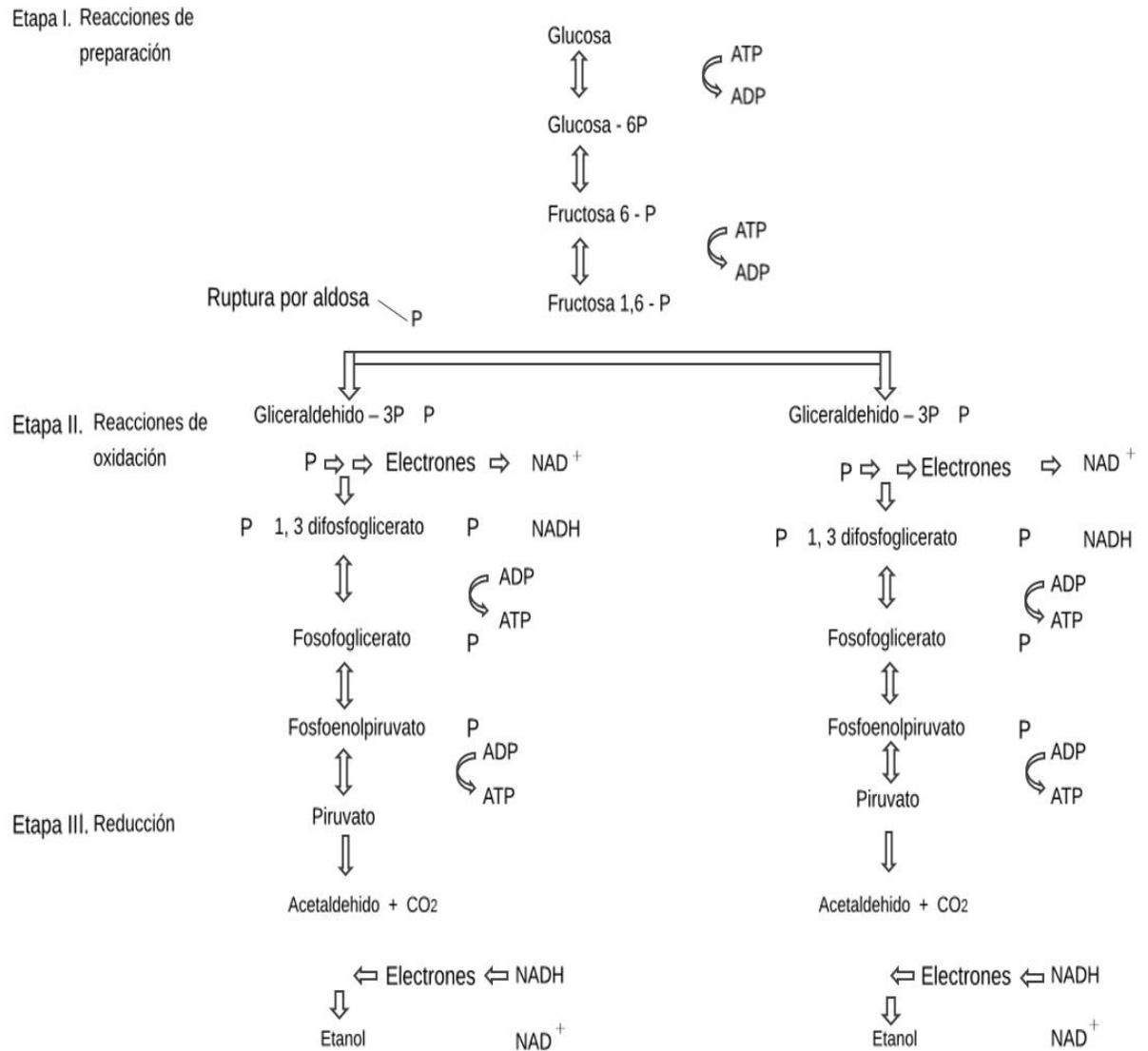
Inicialmente la glucosa es fosforilada por el ATP produciendo glucosa-6-fosfato, este se convierte en un isómero, y una segunda fosforilación conduce a la formación fructosa-1,6-difosfato, que es el producto intermedio. La enzima aldosa cataliza la división de la fructosa-1,6-difosfato en dos moléculas de tres carbonos, el gliceraldehido-3-fosfato y su isómero la dihidroxiacetona fosfato. Hasta el momento no hay reacciones de óxido-reducción; todas las reacciones, incluyen el consumo de ATP, han procedido sin transferencia de electrones. La única reacción de oxidación de la glucólisis ocurre en la conversión del gliceraldehido-3- fosfato al ácido 1,3-difosfoglicérico. En esta reacción una enzima que actúa en la coenzima NAD⁺ acepta dos átomos de hidrógeno y se convierte en NADH. Simultáneamente cada molécula de gliceraldehido-3-fosfato se fosforila por adición de una molécula de fosfato inorgánico se ha convertido en orgánico, sienta las bases para el siguiente, el paso en el cual el ATP es formado realmente. La formación de enlaces de alta energía es posible debido

a cada uno de los fosfatos de una molécula de ácido 1,3- difosfoglicérico representa un enlace fosfato de alta energía. La síntesis del ATP tiene lugar cuando cada molécula de ácido 1,3- difosfoglicérico, se convierte en ácido 3-fosfoglicérico, y posteriormente, en la vía, cuando cada molécula de fosfoenolpiruvato se convierte en piruvato (H. Nieto, 2009).

2.8.1.2 Etapa reductora

Durante la formación de las dos moléculas de ácidos 1,3- difosfoglicérico se redujeron dos NAD^+ a NADH (ver figura 2-9). Sin embargo la célula tiene un suministro ilimitado de NAD^+ , y si todo se convierte en NADH , se detendría la oxidación de la glucosa; la oxidación continuada el gliceraldehido-3-fosfato sólo puede proceder si hay una molécula de NAD^+ que puede aceptar los electrones liberados. Este impedimento se salva en la fermentación por la reoxidación de NADH a NAD^+ a través de las reacciones que incluyen la reducción del piruvato a los diversos productos de la fermentación, en el caso de la levadura, el piruvato se reduce a etanol con liberación de CO_2 . El producto final debe estar en equilibrio de oxidación-reducción con el sustrato inicial, la glucosa. Por esto, el etanol y el CO_2 están en equilibrio eléctrico con la glucosa (H. Nieto, 2009).

Figura 2-9. Secuencia de reacciones enzimáticas en la conversión de la glucosa a piruvato y después a productos de fermentación.



Fuente: H. Nieto, 2009.

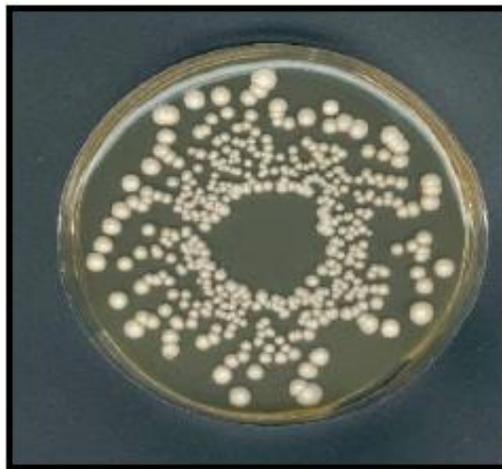
2.8.2 *Saccharomyces Cerevisae*.

Es la especie de levaduras utilizada por excelencia para la obtención de etanol a nivel industrial debido a que es un microorganismo de fácil manipulación y recuperación, no es exigente en cuanto a su cultivo, no presenta alto costo, tolera altas concentraciones de etanol, produce bajos niveles de subproductos, capaz de utilizar altas

concentraciones de azúcares, presenta alta viabilidad celular para el reciclado y características de floculación y sedimentación para el procesamiento posterior (Fajardo y Sarmiento, 2007).

Saccharomyces cerevisiae es una levadura cuya colonia es de color crema o blanco, apariencia húmeda y brillante, de bordes irregulares (Figura 2-10). La temperatura óptima de crecimiento es de 25 a 30°C. Puede producir ascosporas cuando hay requerimientos nutricionales adecuados.

Figura 2-10 Vista macroscópica de *Saccharomyces cerevisiae* en medio YPG



Fuente: Fajardo y Sarmiento, 2007.

Sus dimensiones son: 2.5–10 micras de ancho y 4.5–21 micras de largo. Microscópicamente se observan redondas y ovoides, elipsoides, a veces cilíndricas y filamentosas. Fermenta glucosa, galactosa, sacarosa y maltosa y no fermenta lactosa. Asimila galactosa, sacarosa, maltosa y rafinosa. La aireación óptima es de 0.6 – 0.9 vvm (Fajardo y Sarmiento, 2007).

La mayoría de los productores de Ron utilizan cepas mejoradas de levaduras para contribuir a desarrollar las características de los diferentes rones. Si se desea un ron ligero, la fermentación puede completarse en tan corto tiempo como 12 horas, aunque la práctica normal es de uno o dos días. La fermentación lenta, que puede tomar hasta 12 días, produce un tipo de ron más pesado, especialmente cuando el mosto inicial se

refuerza con los residuos de destilaciones previas y las despumaciones que se producen en las pailas de producción del azúcar (J. Marcano, 2009).

2.8.3 Condiciones a medir y controlar en el proceso de fermentación

2.8.3.1 Temperatura

La temperatura afecta de manera notable en el crecimiento microbiano, debido a que los microorganismos tienen un rango restringido de temperatura para su crecimiento (S. Garzón, 2009).

2.8.3.2 PH

El potencial de hidrógeno tiene una gran influencia en los productos finales del metabolismo anaerobio, por lo tanto es importante tener un control sobre esta variable durante el desarrollo del proceso de fermentación. Puesto que los microorganismos poseen un pH óptimo en el cual tienen mayor velocidad de crecimiento y rendimiento (S. Garzón, 2009).

2.8.3.3 Nutrientes.

Un medio de cultivo debe de tener todos los elementos necesarios para el crecimiento microbiano, para esto se debe tener en cuenta los requerimientos nutricionales del microorganismo con el cual se va a trabajar (S. Garzón, 2009).

2.8.3.4 Aireación.

Cuando el cultivo se realiza en presencia de oxígeno la fermentación se denomina aeróbica y cuando este carece de oxígeno se denomina anaeróbica. Si la fermentación es anaeróbica, la mayor parte del carbono se emplea como energía y solo el 2 % se asimila como material celular. La levadura *Saccharomyces Cerevisiae* posee alta actividad metabólica, por lo que en un proceso fermentativo en fase aerobia se caracteriza por la producción de biomasa y en fase anaeróbica generalmente por la producción de etanol (S. Garzón, 2009).

2.8.4 Eficiencia fermentativa.

La eficiencia fermentativa nos permite conocer el rendimiento de la fermentación a través de la relación del grado alcohólico medido experimentalmente en el mosto y el grado alcohólico teórico a obtenerse.

De acuerdo con el autor, L. Jeri (2015), la ecuación propuesta para el cálculo de la eficiencia fermentativa es la siguiente:

$$Eficiencia\ Fermentativa = \frac{\%Alcohol \times V \times 100}{PM \times \%AF \times Fp \times 10^{-3}} \quad [2.1]$$

En donde:

% Alcohol: es el porcentaje de alcohol en volumen al finalizar la fermentación.

V: volumen del mosto que entra a fermentar en litros

PM: peso de la muestra de melaza en kg

% AF: porcentaje de azúcares fermentables, que representa el 90% del porcentaje de azúcar total en melazas.

Fp: factor de Pasteur en litros de alcohol etílico/ Tn de melaza: 611,23

2.9 DESTILACIÓN

La destilación es un proceso de separación líquido-líquido que aprovecha el punto de ebullición de los elementos que componen la mezcla para poder separarlos durante un cambio físico y recuperar el elemento que se evapora primero, mediante un intercambio de calor que permite retornarlo a su estado líquido utilizando sus propiedades termodinámicas (IQR, 2020).

2.9.1 Destilación simple.

La destilación simple consiste en la vaporización parcial de una mezcla con producción de vapor más rico en componentes más volátiles que la mezcla líquida inicial, quedando un residuo líquido más rico en componentes menos volátiles. Se puede llevar en una destilación cerrada y destilación abierta (J. Ocon, 1980).

2.9.2 Destilación fraccionada

La destilación fraccionada, también llamada continua, se basa en la alimentación regulable de la mezcla a separar, introduciéndola en una columna o torre de destilación. En donde se separan los componentes de una mezcla de forma continua en las distintas fracciones, saliendo por la parte superior la fracción de menor punto de ebullición, por el fondo la fracción más pesada y a diferentes alturas de la columna, las distintas fracciones que se quieren obtener dependiendo de su punto de ebullición (J. López, 2016).

2.9.3 Destilación por lotes.

La destilación intermitente o por lotes se utiliza con frecuencia para separar pequeñas cantidades de líquidos. Por lo general, el destilador intermitente se emplea para una gran variedad de separaciones y por lo tanto debe ser versátil.

En una destilación intermitente típica, el líquido que va a procesarse se carga a un calderín caliente, sobre la cual se instala la columna de destilación equipada con su condensador. Una vez que se carga el líquido inicial, ya no se suministra más alimentación. El líquido del calderín hierve y los vapores ascienden por la columna.

Parte del líquido que sale del condensador, se lleva a reflujo y el resto se extrae como producto destilado. No se extrae ningún producto del calderín sino hasta que se completa la corrida (Foust, 2006).

2.10 AÑEJAMIENTO

El añejamiento es el proceso por el cual el alcohol etílico, recién destilado y diluido en contacto con un tipo específico de madera se transforma lentamente. Los cambios químicos y organolépticos producidos en el proceso permiten aumentar la calidad del producto final.

Las principales reacciones químicas que ocurren en el proceso de añejamiento son: oxidación, hidrólisis, esterificación, entre otras. También ocurren procesos físicos, como la extracción de los componentes de la madera, la evaporación de alcohol, el agua

y otros componentes volátiles, como también el incremento de la materia seca y el color (M. Cárcamo, 2014).

2.10.1 Métodos de añejamiento.

Los métodos de añejamiento son aquellos cuyo objetivo se basa en otorgar a la bebida características físicas y químicas, que se desarrollan durante el tiempo de crianza. Existen dos métodos que son el Añejamiento Tradicional y el Añejamiento Acelerado (A. Quevedo, 2020).

2.10.1.1 Añejamiento Tradicional

El añejamiento tradicional, se basa en el almacenamiento de destilados y vinos en barriles de roble por largos periodos de tiempo, con el objetivo de alcanzar las características físico-químicas y organolépticas otorgadas por la madera. Estas barricas de roble son almacenadas en lugares oscuros y frescos, en donde el oxígeno pasa por los poros de la barrica con el objetivo de oxidar los alcoholes a aldehídos y estos en ácidos, el tiempo de añejamiento está directamente relacionado con el cuerpo de la bebida. Dentro de las desventajas que presenta este añejamiento convencional son los altos costos de producción en cuanto a las grandes cantidades de aguardiente, limitación de espacios para el almacenamiento, mermas por los recipientes permeables, producto en stock por largos periodos de tiempo, costos de transporte y descontrol de las variables de acondicionamiento (A. Quevedo, 2020).

2.10.1.2 Añejamiento Acelerado.

Por otro lado, están los métodos acelerados, que básicamente se basan en la combinación del método tradicional por el uso de astillas, polvo, virutas o chips de madera de roble y la aplicación de técnicas que potencian la extracción de los componentes presentes en la madera. La principal ventaja de los métodos de envejecimiento acelerado son los bajos costos asociados al proceso de obtención, considerando estas ventajas son muchas las variables que se manipulan en su crianza. Existen varios métodos estudiados para lograr acelerar el envejecimiento de los vinos y destilados, desde los basados en aplicar temperatura como es el caso de los

tradicionales hasta los más avanzados, como es el uso de nano partículas de oro que actúan como catalizadores de las reacciones, o la combinación de pequeñas cantidades de oxígeno con el uso de virutas de madera en el seno del fluido. Todos estos métodos solos o combinados cumplen con el objetivo principal de potenciar la extracción de los compuestos presentes en la madera y de esta forma acelerar las reacciones que confieren las características típicas de una bebida añejada (A. Quevedo, 2020).

CAPÍTULO III
PARTE EXPERIMENTAL

CAPÍTULO III

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1 INTRODUCCIÓN

La parte experimental del presente trabajo “Elaboración de Ron Joven a partir de la melaza producida en el ingenio azucarero de Bermejo”

3.2 SELECCIÓN DEL MÉTODO PARA LA ELABORACIÓN DE RON A PARTIR DE MELAZA DE CAÑA.

Para la selección del método a utilizar en este proyecto de investigación aplicada se consultó varias fuentes bibliográficas acerca de la elaboración del ron. De acuerdo a las referencias bibliográficas que se tienen, se reporta que se puede realizar la destilación mediante dos métodos: Destilación por alambique y Destilación por columna de platos.

Se elige el método de destilación por columna de platos, debido a que presenta mejores resultados en la obtención del etanol, ahorro de tiempo y mejor aprovechamiento del refrigerante y la energía. Además, el Laboratorio de Operaciones Unitarias cuenta con este equipo.

Por motivos del horario y reglas del laboratorio de operaciones unitarias, se determina tomar el tiempo de fermentación de 72 horas, con el fin de obtener un Ron de cuerpo ligero, según lo indica la bibliografía.

3.3 EQUIPOS

Los equipos empleados en la parte experimental fueron los siguientes:

- Balanza Analítica
- Refractómetro.
- PH-metro
- Termostato
- Bomba de vacío
- Calentador Eléctrico

- Columna Destiladora.
- Cocina

Las especificaciones de los equipos mencionados se indican en el Anexo C del presente documento.

3.4 MATERIALES DE LABORATORIO

En la realización de la parte experimental se utilizaron los siguientes materiales:

Tabla III-1: Descripción del material utilizado.

Material	Tipo	Capacidad/tamaño	Cantidad
Vaso de precipitado	Vidrio boro silicato	600 ml	1
Probetas	Vidrio boro silicato	25, 100, 500 ml	3
Vidrio reloj	Vidrio pírex	Mediano	1
Varilla	Vidrio pírex	Mediana	1
Embudo	Plástico	Grande	1
Termómetro	Vidrio	-10 a 120 °C	2
Balón	Vidrio	100 ml	1
Refrigerante	Vidrio	Pequeño	1
Pinza doble nuez	Metálico	Pequeño	2
Kitasato	Vidrio	1000 ml	1
Embudo Büchner	Plástico	Mediano	1
Soporte universal	Metálico	Normal	2
Alcoholímetro	Vidrio	0 a 100 °GL	1
Espátula	Metálico	Pequeña	1
Frasco Lavador	Plástico	600 ml	1
Cacerola	Metálico	6 l	1
Jarras	Plástico	1 y 2,5 L	3
Cuchara larga	Metálico	Mediana	1

Fuente: Elaboración propia. 2021

3.5 REACTIVOS

Los reactivos empleados en la elaboración del Ron fueron:

- Ácido Sulfúrico al 25 % de concentración en volumen.

- Agua de mesa.
- Agua Destilada
- Levaduras SC
- Virutas de roble francés de tostado medio.

3.6 DISEÑO FACTORIAL

En el diseño factorial se realizan todas las combinaciones posibles de los niveles de varios factores que intervienen en el experimento.

Los diseños factoriales más sencillos son los diseños 2^k , k corresponde al número de factores que intervienen en el proceso, con dos niveles cada uno y requieren de 2^k experimentos. Cada factor se estudia a dos niveles: nivel o valor alto (+) y nivel o valor bajo (-).

Los experimentos a realizarse incluyen todas las combinaciones de cada nivel de un factor con todos los niveles de los otros factores.

k = número de factores; número de columnas

(+) = nivel o valor alto

(-) = nivel o valor bajo

2^k = número de experimentos; número de filas

Existen varios factores que pueden afectar en mayor o menor proporción a la fermentación alcohólica, entre ellos se encuentran: pH, temperatura de fermentación, tiempo de fermentación, concentración inicial de azúcares. Estos factores pueden condicionar las variables de respuesta tal como la concentración de etanol, la concentración de azúcares y la densidad final del mosto al final de la fermentación.

3.6.1 Construcción del diseño factorial 2^k

El diseño factorial pertenece al modelo 2^k . Donde 2 hace representación a los niveles y k a los factores, las variables cuantitativas; pH y Temperatura. La variable de respuesta será la concentración de etanol al finalizar la fermentación.

El modelo de experimento será: 2^2

El número de experiencias es: $2^2 = 4$

Se consideran tres réplicas a cada experiencia con el fin de obtener resultados significativos y validados.

El número de experimentos totales: $2^2 \times 3 = 12$ experimentos

A continuación, los factores escogidos y el dominio experimental se muestran en la tabla III-2:

Tabla III-2: Factores y dominio experimental

Factores	Dominio experimental	
	Nivel (-)	Nivel (+)
A: pH	4,5	5
B: temperatura	28	30

Fuente: Elaboración propia, 2021

Para conocer los efectos de un factor es suficiente hacerlo variar entre los extremos de su dominio experimental: entre el nivel -1 y +1. Y además de su variación se debe realizar para cada posible combinación de los valores de los demás factores. Esto permitirá descubrir si el efecto depende de qué valor tomen los otros factores. Todas estas combinaciones están contempladas en el diseño factorial completo 2^2 de la tabla N° III-3.

Tabla III-3: Matriz de experimentos

Nº	Matriz de experimentos		Plan de experimentación		
	A	B	pH	Temperatura	Respuesta
1	-1	-1	4,5	28	Y1
2	+1	-1	5	28	Y2
3	-1	+1	4,5	30	Y3
4	+1	+1	5	30	Y4
5	-1	-1	4,5	28	Y5
6	+1	-1	5	28	Y6
7	-1	+1	4,5	30	Y7
8	+1	+1	5	30	Y8
9	-1	-1	4,5	28	Y9
10	+1	-1	5	28	Y10
11	-1	+1	4,5	30	Y11
12	+1	+1	5	30	Y12

Fuente: Elaboración propia, 2021

El modelo de regresión

Para el experimento del proceso fermentativo de 2², el modelo de regresión es:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon \quad [3.1]$$

Donde:

y: Modelo de regresión

X₁: Variable codificada que representa la temperatura de fermentación.

X₂: Variable codificada que representa el pH al iniciar la fermentación.

β: Coeficientes de regresión

ε: Error

Los coeficientes de regresión son brindados por el análisis estadístico hecho en el programa de SPSS.

Para la estimación de efectos se puede aplicar las siguientes fórmulas:

Para el efecto A.

$$A = \frac{1}{2n} \{[a + ab] - [(1) + b]\} \quad [3.2]$$

Para el efecto B

$$B = \frac{1}{2n} \{[b + ab] - [(1) + a]\} \quad [3.3]$$

Para la interacción A*B

$$A * B = \frac{1}{2n} \{[(1) + ab] - [a + b]\} \quad [3.4]$$

Donde:

n: Número de réplicas

(1): Resultado del primer tratamiento

a: Resultado del segundo tratamiento

b: Resultado del tercer tratamiento

ab: Resultado del cuarto tratamiento

Estas fórmulas permiten saber si el efecto es significativo o es irrelevante.

Para la suma de cuadrados es muy importante, pues ayuda a estimar el análisis de varianza, se puede aplicar las siguientes fórmulas.

Suma de cuadrados para A.

$$SS_A = \frac{\{[a + ab] - [(1) + b]\}^2}{4n} \quad [3.5]$$

Suma de cuadrados para B.

$$SS_B = \frac{\{[b + ab] - [(1) + a]\}^2}{4n} \quad [3.6]$$

Suma de cuadrados para la interacción A*B.

$$SS_{AB} = \frac{\{[(1) + ab] - [a + b]\}^2}{4n} \quad [3.7]$$

Donde:

SS: Suma de cuadrados

n: Número de réplicas

(1): Resultado del primer tratamiento

a: Resultado del segundo tratamiento

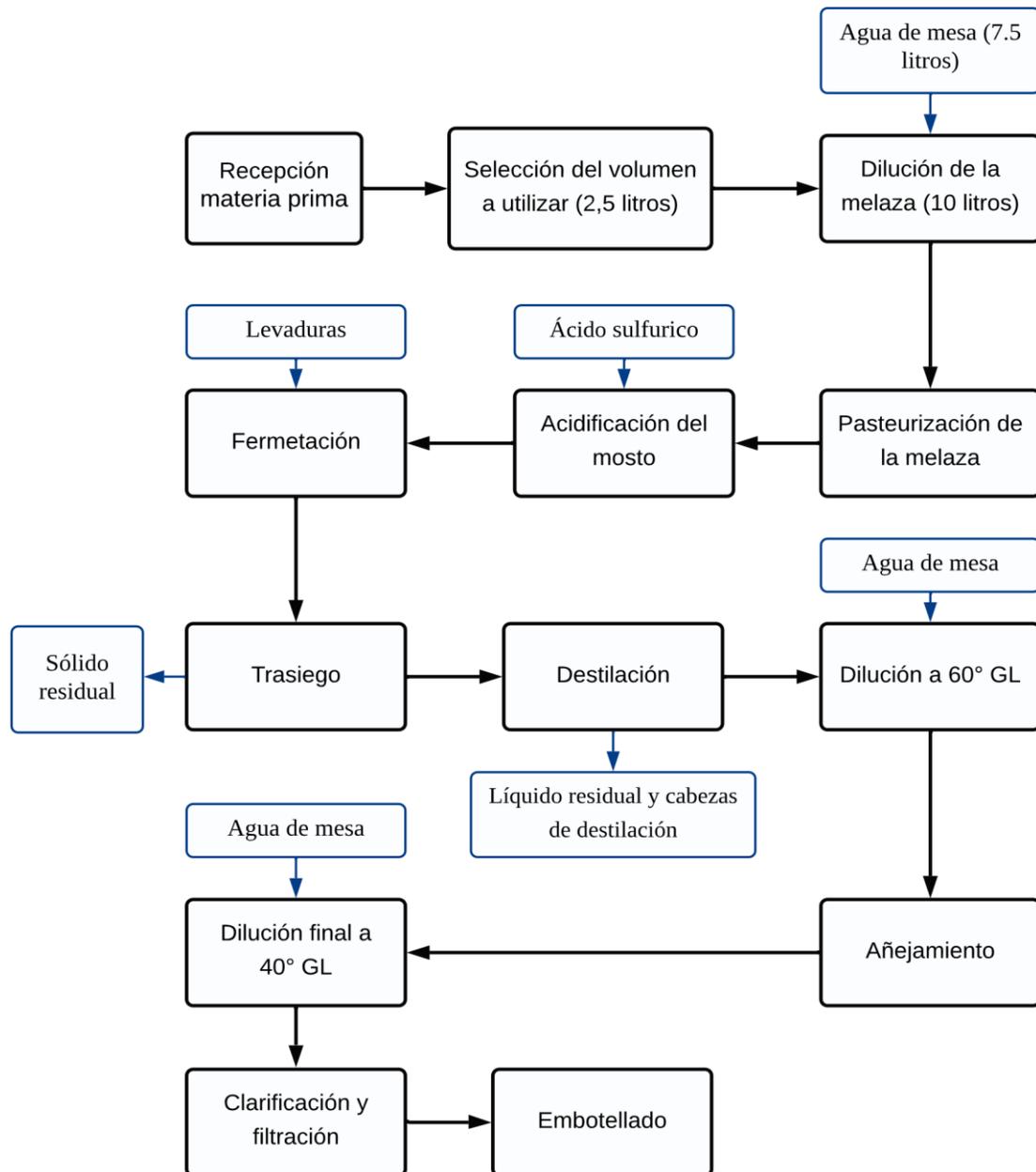
b: Resultado del tercer tratamiento

ab: Resultado del cuarto tratamiento

3.7 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE RON A PARTIR DE MELAZA DE CAÑA.

En la figura 3-1 se muestran las etapas del proceso:

Figura 3-1: Proceso de elaboración de Ron.



Fuente: Elaboración Propia.

3.7.1 Recepción de la materia prima: Melaza de Caña.

La materia prima utilizada en el presente estudio es la melaza de caña procedente del ingenio azucarero de Bermejo, localidad de Bermejo perteneciente a la provincia Aniceto Arce del departamento de Tarija.

Con una ubicación geográfica de:

Latitud: -22.702959

Longitud: -64.292095

Figura 3-2. Ubicación Geográfica de la procedencia de la materia prima



Fuente: Elaboración propia, 2021.

La materia prima fue depositada en bidones con tapa de 20 litros y transportada a las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Se almacenaron los bidones en un ambiente fresco y seco, con poca influencia de los rayos solares.

3.7.2 Selección del volumen a utilizar y dilución de la melaza.

Para la realización de los experimentos de este trabajo, se fijó la selección de un volumen de 2,5 litros de melaza. Posteriormente, se diluye la materia prima con agua de mesa hasta alcanzar los 5 litros.

Figura 3-3 Selección de volumen de melaza de caña.



Fuente: Elaboración propia, 2021

3.7.3 Pasteurización de la melaza diluida.

Para la reducción de la carga microbiana presente en la melaza y evitar inconvenientes en la fermentación, se pasteurizó la mezcla. Para ello, se calentó la melaza diluida hasta alcanzar los 75 grados Celsius y se mantuvo esta temperatura por veinte minutos. Finalizado este periodo de tiempo, se llevó el recipiente a un baño María con agua fría y se añadió un litro de agua de mesa a temperatura ambiente para acelerar el proceso de enfriamiento.

Figura 3-4. Pasteurización de la melaza de caña.



Fuente: Elaboración propia, 2021

3.7.4 Acidificación del mosto.

Una vez enfriada la melaza, se la trasvasó al recipiente fermentador en donde se añadió agua de mesa hasta alcanzar los diez litros. Con ayuda del pH-metro se midió el pH del mosto y se añadió, con ayuda de la probeta, el volumen de ácido sulfúrico necesario para efectuar correctamente los ensayos. Se corrobora con el pH-metro si se alcanzó el pH deseado.

Figura 3-5 Mosto acidificado con ácido sulfúrico.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.7.5 Fermentación del mosto.

Se tomó una muestra de 500 ml del mosto para medir los sólidos disueltos con el refractómetro antes de la fermentación y a este se le añadieron 7 gramos de levadura *saccharomyces cerevisiae*. Se calentó 20 minutos en baño maría a 38 grados para activar las levaduras. Una vez activadas, se colocaron junto con el mosto en el fermentador y se tapó este para que no entre el oxígeno y tener una fermentación adecuada. Con el termostato se fijó la temperatura del baño en la fermentación y se dejó fermentar durante 3 días, en los cuales se tomaron muestras cada 24 horas para observar el avance de la fermentación a través del refractómetro. Con los datos de °Brix medidos, se graficaron las curvas de fermentación para cada ensayo.

Figura 3-6. Levaduras activadas para el proceso de fermentación.

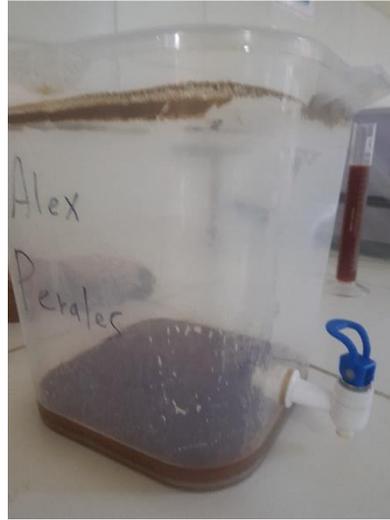


Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.7.6 Trasiego del mosto fermentado.

Finalizado el tiempo de fermentación, se retiró el fermentador del baño y se dejó reposar durante 30 minutos para que las levaduras se asienten en la parte inferior del recipiente. A través de un grifo colocado por encima de la deposición de levaduras, se recogió el fermento, consiguiendo de esta manera separarlo de las levaduras depositadas.

Figura 3-7. Restos solidos depositados, tras el trasiego del mosto fermentado.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.7.7 Destilación del mosto fermentado.

El fermento es llevado a la columna de destilación, en donde se separó el alcohol obtenido en el proceso fermentativo. Además, se tomó una muestra de 100 ml del fermento para la determinación del grado alcohólico, a través de un sistema de destilación simple.

El tiempo de destilación en la columna fue de 5 horas aproximadamente, en donde los primeros 50 ml (cabezas de destilación) fueron separados y desechados. A partir del desecho de las cabezas, se fue midiendo cada 100 ml el grado alcohólico del destilado que se recogió del condensador con el uso del alcoholímetro. La destilación finaliza cuando en el destilado se recoge el alcohol con una concentración aproximada de 60 °GL.

Figura 3-8. Sistema de destilación simple para la medición del grado alcohólico.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.7.8 Añejamiento del destilado

Para esta etapa, el alcohol destilado se diluyó con agua de mesa hasta obtener un grado alcohólico de 60° GL. Una vez diluido fue colocado en el barril de roble durante el periodo de tres meses. Pasado este tiempo de reposo, el destilado se coloca en un recipiente esterilizado de vidrio para su última etapa de añejamiento, empleando 5 gramos de virutas de roble francés de tostado medio, el tiempo de reposo en esta etapa fue de 30 días.

Figura 3-9 Trasvase del Ron añejado en barril al recipiente de vidrio con virutas de roble francés.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.7.9 Dilución final y Clarificación.

Terminado el periodo de añejamiento, se procedió con la extracción de las virutas de roble a través de un colador. Recogidas las virutas de madera, se procedió con la dilución del destilado empleando agua de mesa hasta alcanzar el grado alcohólico de 40 °GL.

Una vez diluido, se procedió con la clarificación y filtración de la bebida utilizando gelatina sin sabor. Para ello se colocó en un recipiente herméticamente cerrado el ron obtenido y se añadió la gelatina. La cantidad de gelatina empleada fue de una cucharada por cada litro de Ron y se dejó en reposo en el recipiente por cinco días. Pasado el tiempo establecido, se procedió a separar los sólidos coagulados del Ron empleando una filtración al vacío con papel filtro.

Figura 3-10. Filtración al vacío del Ron obtenido.



Fuente: elaboración propia, 2021.

3.7.10 Envasado

Una vez obtenido el ron con su grado alcohólico correspondiente y clarificado, se procedió con el embotellado del producto en botellas esterilizadas, para su posterior consumo.

Figura 3-11. Ron Clarificado, listo para envasar.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Los parámetros fisicoquímicos de la melaza de caña de IABSA fueron determinados por el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), en la tabla N° IV-1 se muestran los resultados:

Tabla IV-1: Análisis fisicoquímico de la melaza de caña de IABSA.

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Acidez (como Ac. Tartárico)	%	0,56
Azúcares reductores	%	16,98
Azúcares totales	%	66,61
Ceniza	%	9,44
Fósforo	mg P/ 100 g	82,1
Humedad	%	0,39
Materia Seca	%	18,66
Nitrógeno total	g/100 g	0,39
pH (20°C)		6,4
Proteína total	%	2,42
Sólidos solubles	°Brix	78

Fuente: CEANID, 2021.

4.2 ENSAYOS DE OBTENCIÓN DE RON A PARTIR DE MELAZA DE CAÑA DE IABSA.

Se realizaron 12 ensayos de obtención de etanol con los parámetros propuestos en el diseño factorial (ver pág. 33), correspondiente a tres réplicas.

Se fermentó la melaza a temperaturas de 28 y 30° C, con pH de 4,5 y 5 durante tres días, empleando 7 gramos de levadura SC en cada ensayo. Se extrajeron pequeñas muestras, antes de la destilación, para determinar el grado alcohólico al finalizar la fermentación.

Donde se considera:

Experimento 1: pH 4,5 y Temperatura 28° C

Experimento 2: pH 5 y Temperatura 28° C

Experimento 3: pH 4,5 y Temperatura 30° C

Experimento 4: pH 5 y Temperatura 30° C

4.2.1 Registro de las curvas de fermentación.

En la tabla IV-2 se tiene recogido los datos del proceso fermentativo para los doce ensayos. Para la representación gráfica de las curvas en cada experimento, se calcularon los promedios para cada réplica, cuyos resultados fueron recogidos en la tabla IV-3.

Con los datos de la tabla IV-3 se graficaron las curvas de fermentación para cada experiencia, que se aprecian en las figuras 4-1, 4-2, 4-3, 4,4.

Tabla IV-2 Resultados del avance fermentativo.

	Réplica 1				Réplica 2				Réplica 3			
	Brix inicial	24 hrs	48 hrs	72 hrs	Brix inicial	24 hrs	48 hrs	72 hrs	Brix inicial	24 hrs	48 hrs	72 hrs
Experimento 1	23	19,3	14,6	12	23,6	20,5	14,8	12,6	23	19	13,9	11,5
Experimento 2	24	20,9	15,6	13,1	22,5	17,7	12	11	23	19	12,7	11,6
Experimento 3	23,5	19,4	13,6	12	23	19,3	14,3	12,1	23	19,6	13,8	12,1
Experimento 4	24	19,3	13,1	12,1	23,5	19,6	13,3	11,7	23,5	19,3	13,6	11,5

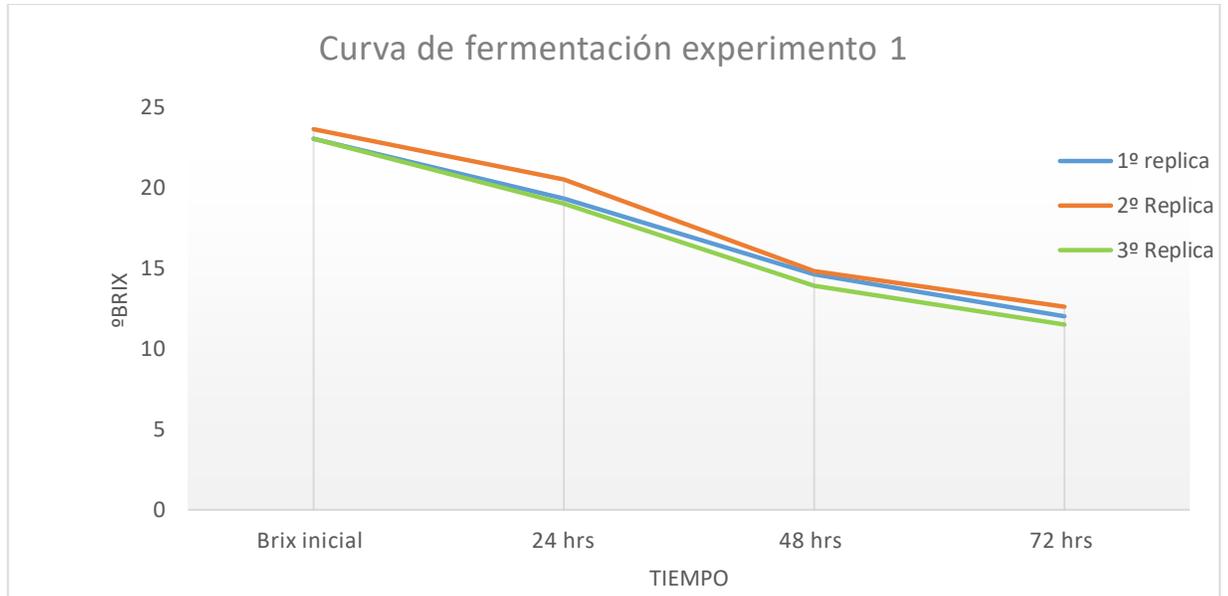
Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla IV-3 Promedio de los resultados en los ensayos de la fermentación.

	Promedio			
	Brix inicial	24 hrs	48 hrs	72 hrs
Experimento 1	23,2	19,6	14,4	12,0
Experimento 2	23,2	19,2	13,4	11,9
Experimento 3	23,2	19,4	13,9	12,1
Experimento 4	23,7	19,4	13,3	11,8

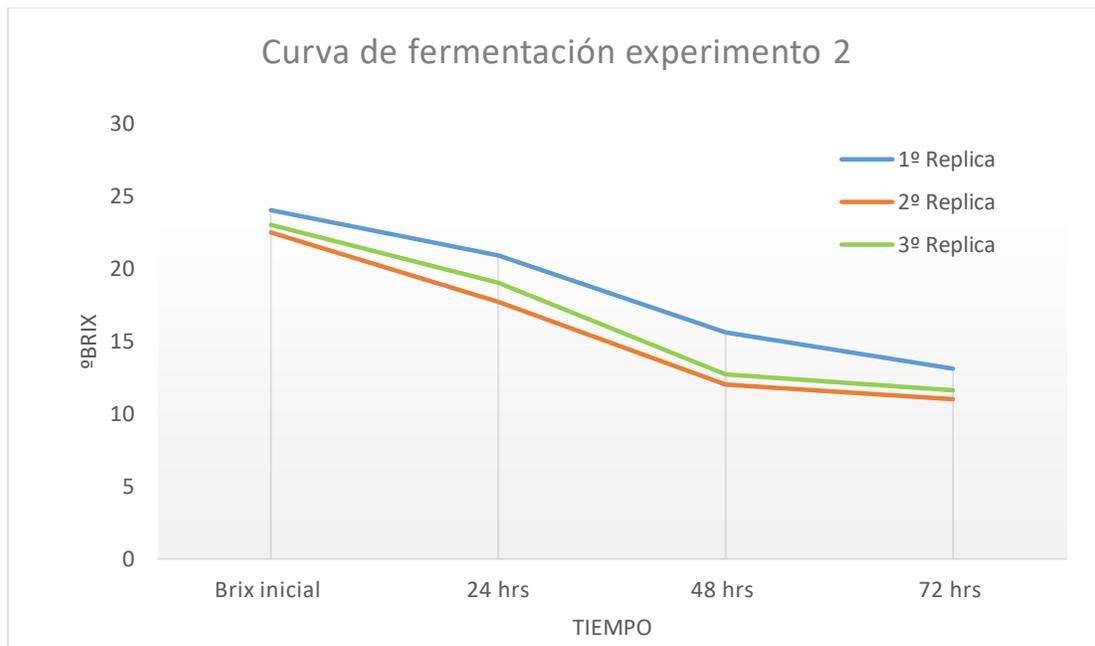
Fuente: Elaboración propia, 2021.

Figura 4-1: Curva de fermentación experimento 1



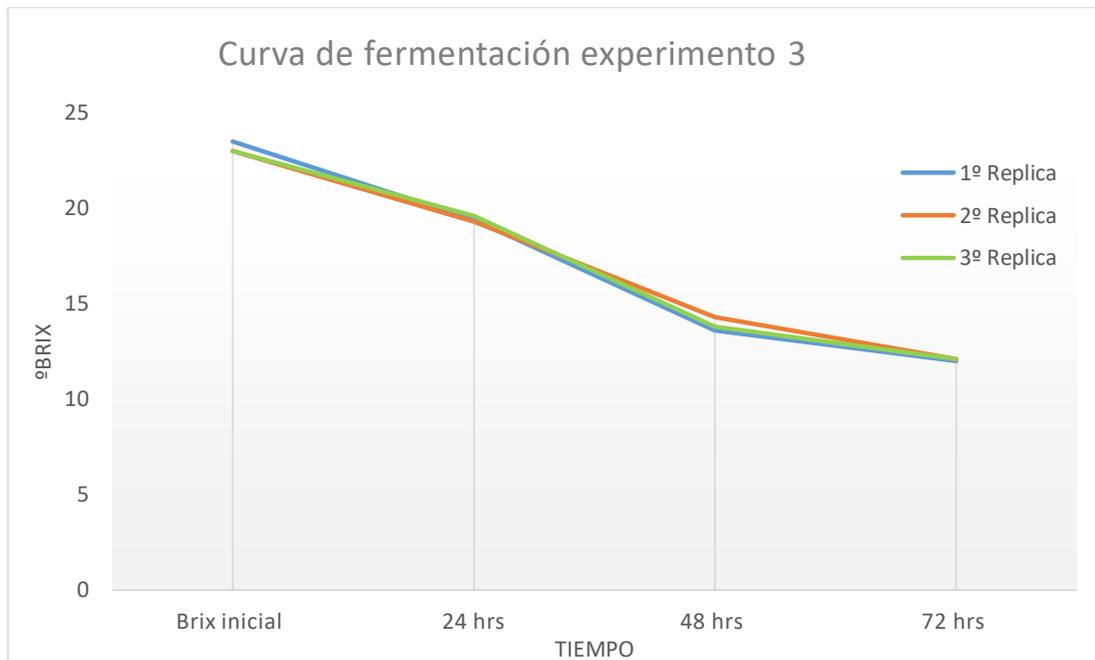
Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura 4-2: Curva de fermentación experimento 2



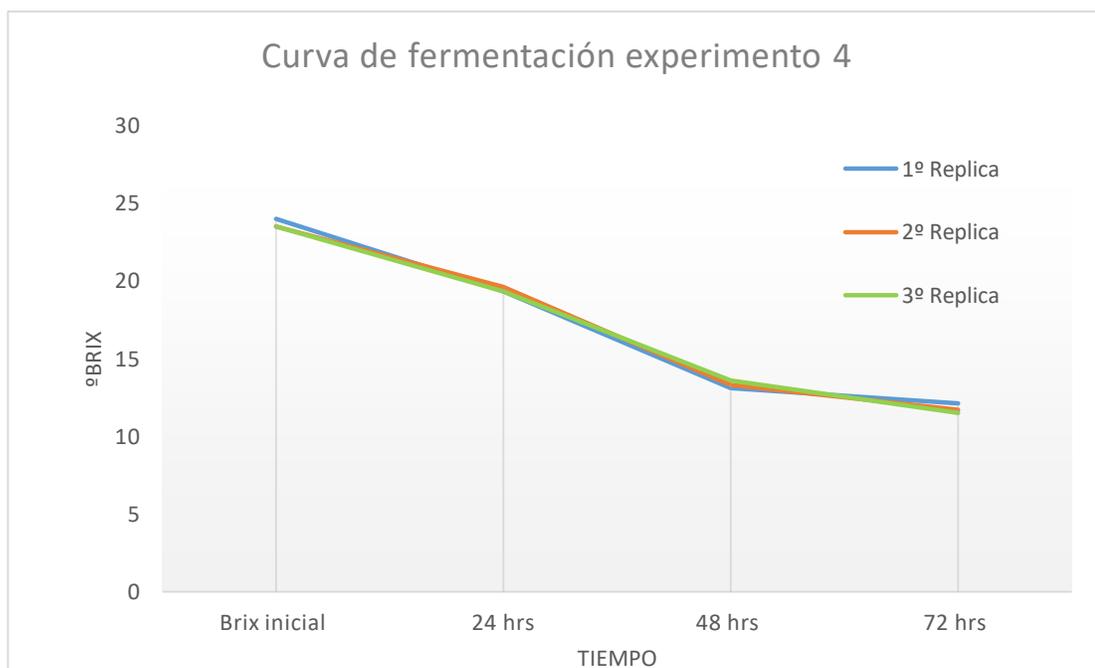
Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura 4-3: Curva de fermentación experimento 3



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura 4-4: Curva de fermentación experimento 4



Fuente: Elaboración propia, 2021

4.2.2 Grado alcohólico

Se obtuvieron los siguientes resultados al medir el grado alcohólico del mosto fermentado después de transcurrir las 72 horas de fermentación:

Tabla IV-4: Resultados de la medición del grado alcohólico en el mosto fermentado.

N°	Parámetros en la fermentación		Grado alcohólico (°GL)			Promedio
	pH	Temperatura	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	
1	4,50	28	9	9	9,50	9,17
2	5	28	10	9,50	10	9,83
3	4,50	30	10	10	10	10,00
4	5	30	11	10,50	11	10,83

Fuente: Elaboración propia, 2021

La fermentación realizada a pH de 5 y a una temperatura constante de 30° C fue la que presento mayor cantidad de alcohol al finalizar el periodo de tres días de fermentación.

4.2.3 Eficiencia de la fermentación.

Con los datos obtenidos, se procedió a calcular la eficiencia fermentativa de cada ensayo empleando la ecuación [2.1].

Tabla IV-5: Resultados de la eficiencia de la fermentación para cada ensayo.

N°	Parámetros en la fermentación		Eficiencia fermentativa (%)			Promedio
	pH	Temperatura (°C)	réplica 1	réplica 2	réplica 3	
1	4,50	28	70,19	70,19	74,09	71,49
2	5	28	77,99	74,09	77,99	76,69
3	4,50	30	77,99	77,99	77,99	77,99
4	5	30	85,78	81,89	85,78	84,49

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En el cuadro anterior, se puede apreciar que el experimento con mayor eficiencia fermentativa es el de cuyos parámetros son: pH de 5 y 30° C de temperatura de fermentación.

Los datos y cálculos utilizados para la elaboración de la tabla IV-5 se muestran en el anexo V del presente proyecto.

4.3 RESULTADOS DEL DISEÑO FACTORIAL.

Para el tratamiento estadístico de los datos del diseño factorial, se utilizó el programa SPSS STATISTICS 25.0 (Statistical Package for the Social Sciences).

En la tabla IV-6, se presenta los datos obtenidos de la parte experimental

Tabla IV-6: Matriz de experimentos con los datos experimentales obtenidos.

N°	Matriz de experimentos		Plan de experimentación		
	A	B	pH	Temperatura	Grado Alcohólico
1	-1	-1	4,5	28	9
2	+1	-1	5	28	10
3	-1	+1	4,5	30	10
4	+1	+1	5	30	11
5	-1	-1	4,5	28	9
6	+1	-1	5	28	9,5
7	-1	+1	4,5	30	10
8	+1	+1	5	30	10,5
9	-1	-1	4,5	28	9,5
10	+1	-1	5	28	10
11	-1	+1	4,5	30	10
12	+1	+1	5	30	11

Fuente: Elaboración propia, 2021.

4.3.1 Análisis de varianza Univariante

Se realizó un Análisis de Varianza Univariante, para poder determinar la influencia de los factores como la Temperatura y pH, verificando sí todos los factores y sus

combinaciones son significativos respecto a la variable respuesta, Grado alcohólico, según la tabla .

Los factores inter-sujetos se muestran en la tabla IV-7 con la codificación de cada nivel.

Tabla IV-7 Factores Inter-Sujetos.

Factores inter-sujetos		
		N
TEMPERATURA	-1,00	6
	1,00	6
pH	-1,00	6
	1,00	6

Fuente: Elaboración propia, SPSS, 2021

La tabla IV-8 muestra las pruebas inter-sujetos para determinar las variables significativas.

Tabla IV-8: Pruebas inter-sujeto

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Grado Alcohólico					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4,229 ^a	3	1,410	22,556	,000
Intersección	1190,021	1	1190,021	19040,333	,000
TEMPERATURA	2,521	1	2,521	40,333	,000
pH	1,688	1	1,688	27,000	,001
TEMPERATURA * pH	0,021	1	,021	,333	,580
Error	0,500	8	,063		
Total	1194,750	12			
Total corregido	4,729	11			

a. R al cuadrado = ,894 (R al cuadrado ajustada = ,855)

Fuente: Elaboración propia, SPSS, 2021

En la tabla IV-8, se observa que en los resultados de la intersección de las variables temperatura*pH no son significativos para la determinación del modelo matemático. Por lo tanto, se consideraron despreciables en los siguientes análisis.

4.3.2 Determinación del Modelo Matemático.

Para determinar el modelo matemático se realizó una regresión con todas las variables significativas, temperatura y pH; como variable dependiente el grado alcohólico del mosto fermentado que se muestran en la tabla IV-6.

En las tablas IV-10 y IV-9 se muestra el resumen del modelo matemático y del análisis ANOVA para el grado alcohólico, donde el exponente hace referencia a las variables: constante, Temperatura y pH.

Tabla IV-9: Resumen del modelo matemático

Resumen del modelo ^b				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,943 ^a	0,890	0,865	0,24056
a. Predictores: (Constante), pH, TEMPERATURA				
b. Variable dependiente: Grado Alcohólico				

Fuente: Elaboración propia, SPSS, 2021

El análisis de varianza (ANOVA) en la tabla IV-10 muestra un nivel de significación que tiende a cero, demostrando que el modelo matemático escogido es el correcto.

Tabla IV-10 Resultados del Análisis ANOVA

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	4,208	2	2,104	36,360	,000 ^b
	Residuo	,521	9	,058		
	Total	4,729	11			
a. Variable dependiente: Grado Alcohólico						
b. Predictores: (Constante), pH, TEMPERATURA						

Fuente: Elaboración propia, SPSS, 2021

En la tabla IV-11 se muestran los coeficientes para el modelo matemático del grado alcohólico del mosto fermentado.

Tabla IV-11: Coeficientes del modelo matemático.

Coeficientes ^a								
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95,0% intervalo de confianza para B		
	B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior	
1	(Constante)	9,958	,069		143,40	,000	9,801	10,115
	Temperatura	,458	,069	,730	6,60	,000	,301	,615
	pH	,375	,069	,597	5,40	,000	,218	,532
a. Variable dependiente: Grado Alcohólico								

Fuente: Elaboración propia, SPSS, 2021

Según los coeficientes indicados en la tabla IV-11, el modelo matemático para la determinación del grado alcohólico del mosto fermentado responde a la ecuación:

$$Y = 9,958 + 0,458X1 + 0,375X2$$

Donde:

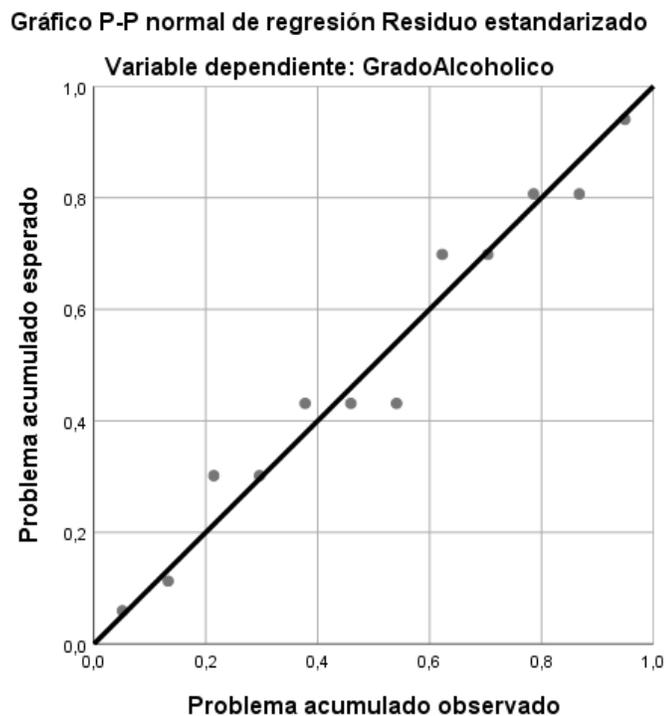
X1: Temperatura (en grados Celsius)

X2: pH

Y: Grado alcohólico (en °GL)

Cada una de las variables introducidas y el rendimiento están relacionados con la ecuación.

En la figura 4-5 se observa el modelo escogido y la posición de los puntos respecto al modelo, en donde varios puntos se ajustan al modelo, por lo que se concluye que el modelo escogido es correcto.

Figura 4-5 Modelo lineal.

Fuente: Elaboración propia, SPSS, 2021

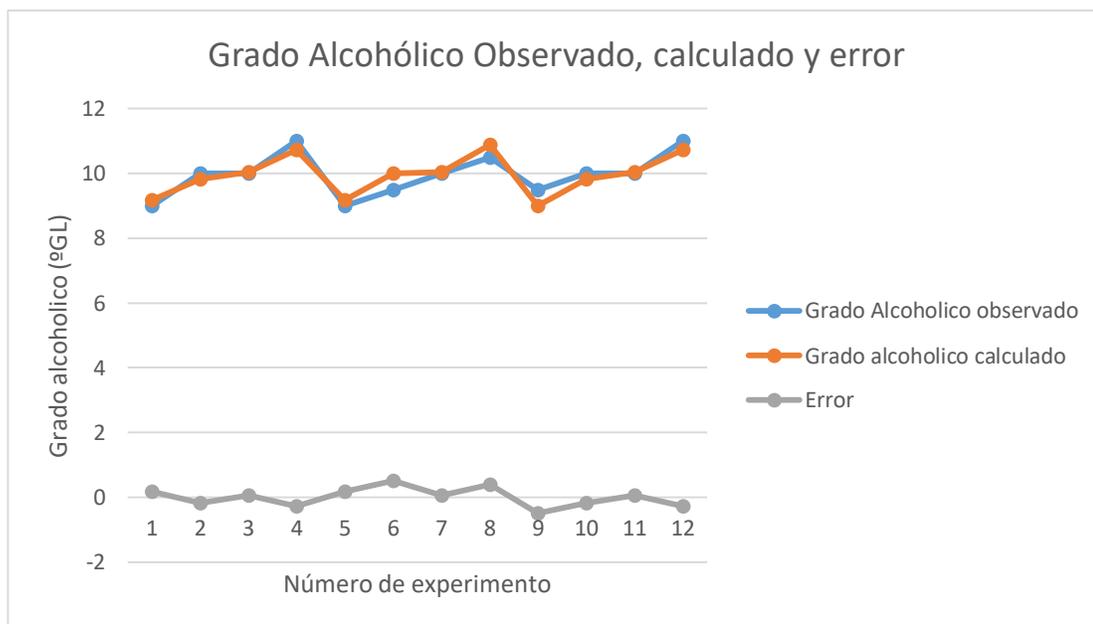
Según el modelo lineal; se obtiene una nueva columna de datos que recibe el nombre de grado alcohólico calculado, el que a continuación se gráfica junto al grado alcohólico observado que fue obtenido de cada experimento (ver tabla IV-12), para poder verificar el ajuste de la ecuación al modelo matemático.

Tabla IV-12 Resultado de Grado alcohólico Observado y Calculado

Nº experimento	Grado Alcohólico observado	Grado Alcohólico calculado	error
1	9	9,17	0,17
2	10	9,83	-0,17
3	10	10,05	0,05
4	11	10,72	-0,28
5	9	9,17	0,17
6	9,5	10	0,5
7	10	10,05	0,05
8	10,5	10,89	0,39
9	9,5	9	-0,5
10	10	9,83	-0,17
11	10	10,05	0,05
12	11	10,72	-0,28

Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura 4-6 Grado alcohólico Observado, calculado y error.



Fuente: Elaboración propia, 2021

4.4 CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO

4.4.1 Caracterización fisicoquímica

Los parámetros fisicoquímicos del Ron fueron determinados por el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) y por el centro vitivinícola de Tarija (CEVITA). En donde el volumen de muestra requerido para los análisis fue de 1,5 litros de Ron.

4.4.1.1 Grado alcohólico.

Fue determinado por el laboratorio del CEANID.

El valor del grado alcohólico del ron obtenido fue de 40° GL, este valor se encuentra dentro del rango permisible (32 a 40° GL) de la norma boliviana NB: 324012.

4.4.1.2 Acidez total.

Fue determinado por el laboratorio del CEANID.

El valor de la acidez total, como ácido acético, del ron obtenido fue de 18,19 mg/100 ml. Este valor se encuentra por debajo del máximo permisible (20 mg/100 ml) de la norma boliviana NB: 324012.

4.4.1.3 Aldehídos.

Fue determinado por el laboratorio del CEVITA.

El valor de los aldehídos, como acetaldehído, del ron obtenido fue de 125 mg/100 ml. Este valor se encuentra muy por encima del máximo permisible (30 mg/100 ml) de la norma boliviana NB: 324012. Esta gran cantidad podría deberse a la falta de nutrientes en la fermentación o por cuestiones técnicas del fermentador que oxigena el mosto durante la fermentación. También, la posible presencia de minerales en el barril de roble durante el añejamiento, ya que estos favorecen la oxidación de los alcoholes en aldehídos.

4.4.1.4 Esteres.

Fue determinado por el laboratorio del CEVITA.

El valor de los Esteres, como acetato de etilo, del ron obtenido fue de 117 mg/100 ml. Este valor se encuentra por debajo del máximo permisible (200 mg/100 ml) de la norma boliviana NB: 324012.

4.4.1.5 Furfural.

Fue determinado por el laboratorio del CEVITA.

El valor del furfural del ron obtenido fue de 0,6 mg/100 ml. Este valor se encuentra por debajo del máximo permisible (1,5 mg/100 ml) de la norma boliviana NB: 324012.

4.4.1.6 Alcoholes superiores.

Fue determinado por el laboratorio del CEVITA.

El valor de los alcoholes superiores del ron obtenido fue de 96,2 mg/100 ml. Este valor se encuentra por debajo del máximo permisible (120 mg/100 ml) de la norma boliviana NB: 324012.

4.4.1.7 Metanol.

Fue determinado por el laboratorio del CEANID.

El valor del metanol del ron obtenido fue menor a 1 ml/1000 ml. Este valor cumple con lo establecido en la norma boliviana NB: 324012.

4.4.1.8 Extracto seco.

Fue determinado por el laboratorio del CEANID.

El valor del extracto seco del ron obtenido fue de 2,52 g/1000 ml. Este valor se encuentra por debajo del máximo permisible (20 g/1000 ml) de la norma boliviana NB: 324012.

4.4.1.9 Ceniza total.

Fue determinado por el laboratorio del CEANID.

El valor del extracto seco del ron obtenido fue de 0,3 g/1000 ml. Este valor se encuentra por debajo del máximo permisible (0,5 g/1000 ml) de la norma boliviana NB: 324012.

4.4.1.10 Tabla resumen.

En la tabla IV-13 se muestran el resumen de los resultados obtenidos junto con los máximos permisibles según la normativa NB: 324012.

Tabla IV-13: Resumen de los Resultados de la caracterización fisicoquímica del Ron joven.

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	MAXIMO PERMISIBLE
Grado alcohólico	°GL	40	40
Acidez total (como Ac. Acético)	mg/100 ml	18,19	20
Aldehídos (como acetaldehído)	mg/100 ml	125	30
Esteres (como acetato de etilo)	mg/100 ml	117	200
Furfural	mg/100 ml	0,6	1,5
Alcoholes superiores	mg/100 ml	96,2	120
Metanol	ml/1000 ml	< 1	1
Extracto seco	g/1000 ml	2,52	20
Cenizas totales	g/1000 ml	0,3	0,5

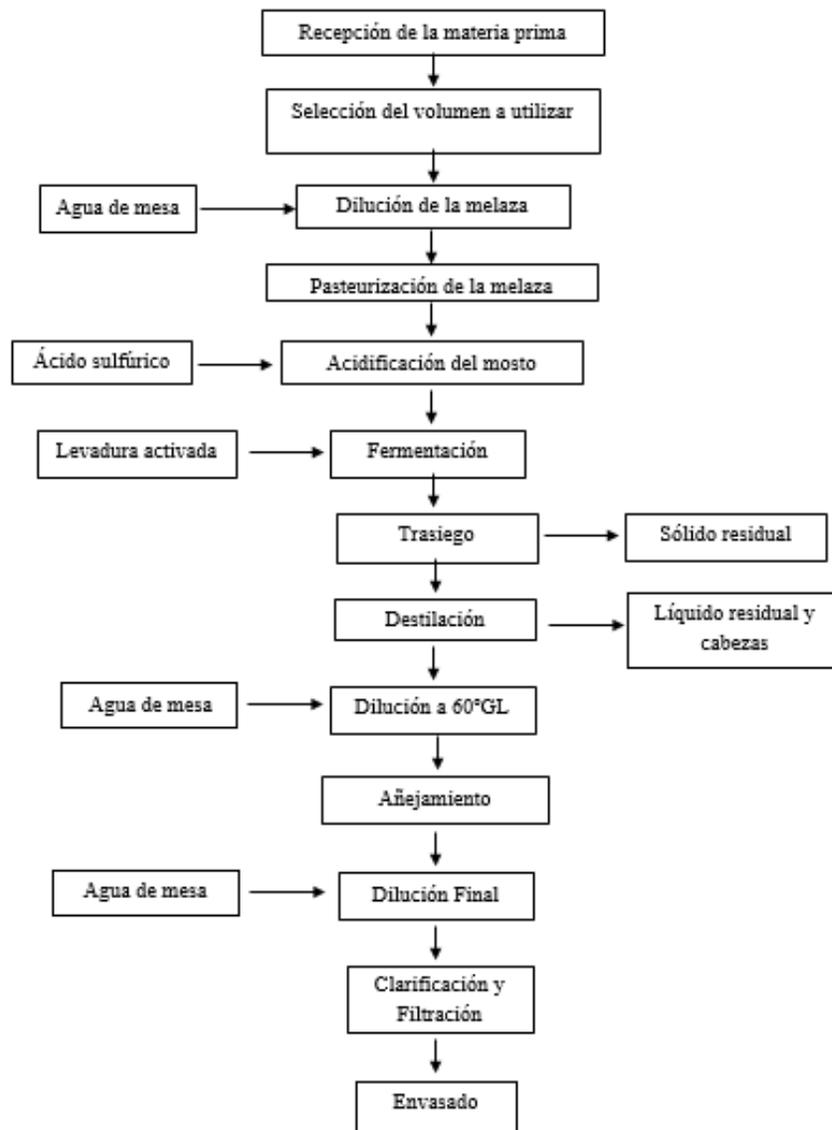
Fuente: CEANID, 2021. CEVITA 2021.

En la tabla IV-13 se puede apreciar que el producto obtenido cumple con la mayoría de los requisitos exigidos por la normativa, excepto el parámetro de aldehídos.

4.5 BALANCE DE MATERIA.

Para el balance de Materia se partió desde una muestra de melaza de 3500 gramos (en los ensayos se empleó 2,5 litros de melaza de densidad 1,4 g/ml), tomando en cuenta las variables que proporcionan más grado alcohólico al finalizar la fermentación, temperatura: 30° C y pH 5.

Figura 4-7 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de Ron realizado.

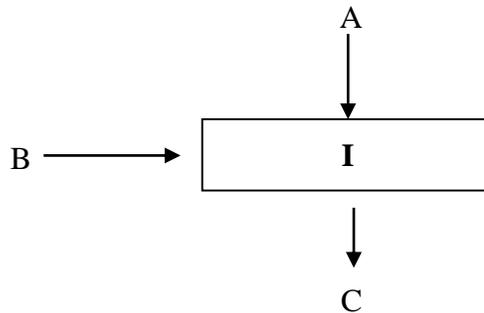


Fuente: Elaboración propia, 2021.

4.5.1 Balance de materia en la Dilución de la materia prima.

El balance global para el primer bloque se realizó en base a datos medidos experimentalmente. Para llegar al volumen deseado de fermentación se añadieron 7500 gramos de agua a la melaza durante el proceso de dilución y pasteurización, tomando de dato de la densidad del agua como $\rho = 1 \text{ g/ml}$. Además, destacar que en el proceso

de pasteurización no se observa una pérdida significativa del volumen del mosto debido a que no se alcanza el punto de ebullición de la mezcla preparada.



Donde:

A = Cantidad de melaza = 3500 g

B = cantidad de agua de mesa = 7500 g

C = cantidad de melaza diluida = 11000 g

Balance para el bloque I:

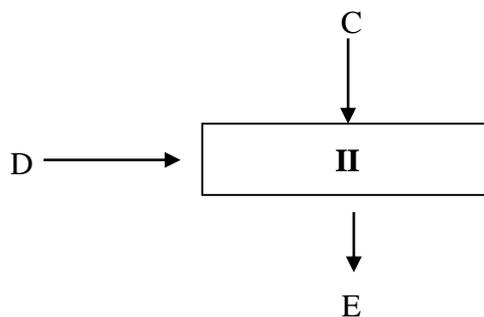
$$C = B + A \quad [4.1]$$

De la ecuación [4.1]:

$$C = 11000 \text{ g}$$

4.5.2 Balance de materia en la acidificación del mosto

Para la acidificación de la melaza diluida se utilizó 35 ml de ácido sulfúrico al 25 % cuya densidad es de 1,18 g/ml.



Donde:

C: cantidad de melaza diluida = 11000 g

D: cantidad de ácido sulfúrico 35 ml → 41.3 g

E: cantidad de melaza acidificada = 11041,3 g

Balance para el bloque II:

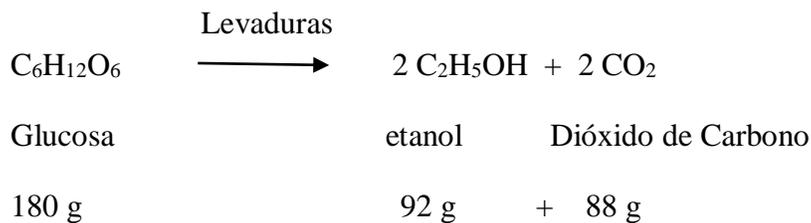
$$E = D + C \quad [4.2]$$

De la ecuación [4.2]:

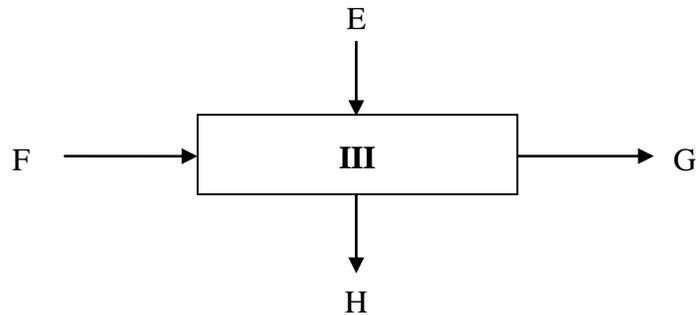
$E = 11041,3 \text{ g}$

4.5.3 Balance de materia en la fermentación del mosto.

Para la realización del balance en la fermentación se tomaron en cuenta las mediciones experimentales al final de la fermentación, cuyo tiempo fue de 72 horas. Además, se utilizaron 7 gramos de levadura SC para llevarla a cabo. La reacción bioquímica que se da en el proceso es la siguiente:



En donde la cantidad de dióxido de carbono producida en el proceso de fermentación alcohólica, se calculó a través de los balances de materia y datos medidos en el ensayo realizado.



En donde:

E: es la cantidad de mosto o melaza acidificada = 11041,3 g

F: es la cantidad de levadura = 7 g

G: cantidad de CO₂ producido en el proceso = 866,3 g

H: cantidad de mosto fermentado = 10182 g

Balance para el bloque III:

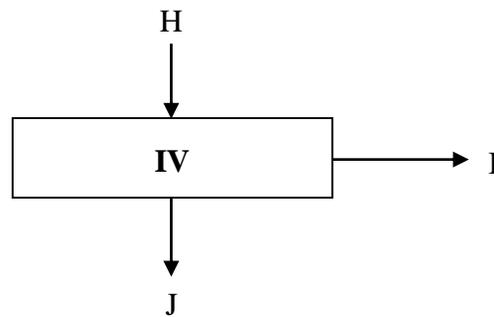
$$E + F = G + H \quad [4.3]$$

De la ecuación [4.3]:

$$G = E + F - H = 866,3 \text{ g}$$

4.5.4 Balance de materia en el trasiego del mosto fermentado.

Al final de la operación de trasiego, quedaron depositados en el fermentador la cantidad de 500 gramos correspondientes a los sólidos generados en la fermentación, principalmente levaduras. En el proceso se separó un volumen de 9400 ml de fermento cuya densidad es de 1.03 g/ml, que al hacer la transformación correspondiente al peso, es de 9682 gramos.



En donde:

H: cantidad de mosto fermentado = 10182 g

I: cantidad de solido residual de la fermentación = 500 g

J: Cantidad de mosto fermentado separado = 9682 g

Balance para el bloque IV:

$$H = I + J \quad [4.4]$$

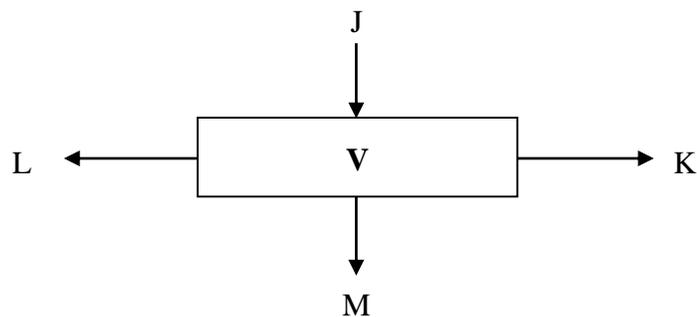
De la ecuación [4.4]:

$$H = 10182 \text{ g}$$

4.5.5 Balance de materia en la destilación.

Durante la destilación, se recogieron los primeros 50 ml del condensado (cabezas de destilación) para su posterior desecho, cuya densidad es de 0,8 g/ml y grado alcohólico de 92° GL, aproximadamente.

Se recogieron 950 ml de etanol a 80° GL, cuya densidad es de 0.86 g/ml. La cantidad de líquido residual de la destilación se calculó a través del balance de materia.



En donde:

J: cantidad de mosto separado = 9682 g

K: cantidad en las cabezas de destilación, $m_k = 0.8 * 50 = 40$ g

L: cantidad de líquido residual de destilación = 8825 g

M: cantidad de etanol a 80° GL, $m_m = 0.86 * 950 = 817$ g

Balance para el bloque V:

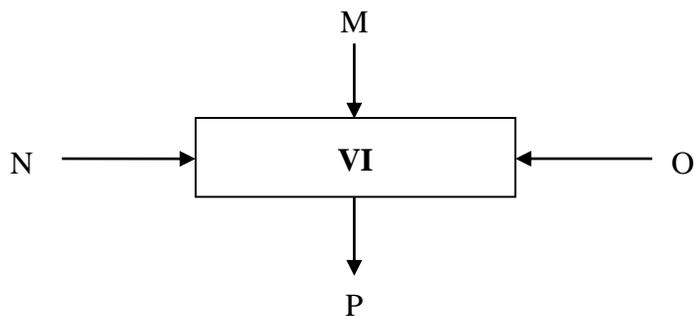
$$J = L + K + M \quad [4.5]$$

De la ecuación [4.5]:

$$L = J - K - M = 8825 \text{ g}$$

4.5.6 Balance de materia en el añejamiento.

Para la dilución del destilado obtenido a 80° GL, se tomó en cuenta el fenómeno de la contracción de volumen etanol-agua. Para calcular el volumen necesario de agua de mesa se emplea la tabla de diluciones de Gay Lussac (ver tabla II-4), en donde indica la cantidad de agua necesaria para diluir el destilado hasta alcanzar los 40° GL. Por regla de tres simple, en el proceso de añejamiento se añadieron 336.20 gramos de agua de mesa para alcanzar un volumen de 1267 ml, además se añaden 5 gramos de virutas de madera de roble de tostado medio.



En donde:

M: cantidad de etanol a 80° GL = 817 g

N: cantidad de agua de mesa para diluir = 336.20 g

O: cantidad de viruta de roble tostado = 5 g

P: cantidad de líquido añejado = 1158,20 g

Balance para el bloque VI:

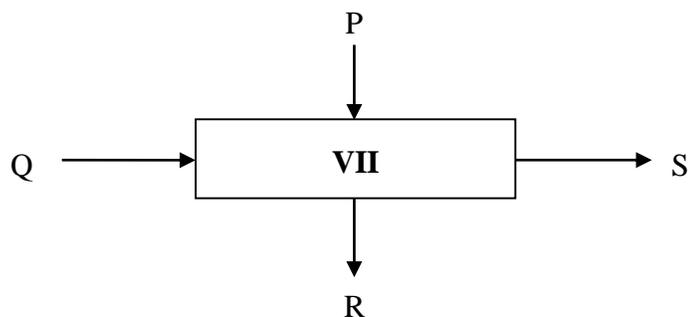
$$P = O + N + M \quad [4.6]$$

De la ecuación [4.6]:

$P = 1158.20 \text{ g}$

4.5.7 Balance de materia en la dilución final.

En el proceso de dilución final se retiraron las virutas de roble colocadas en el proceso de añejado. Al igual que en el anterior balance, se empleó la tabla de diluciones de Gay Lussac (ver tabla II-4) para diluir el destilado añejado de 60° GL a 40° GL. Según los cálculos, se añadió 651,87 g de agua de mesa para que el Ron alcance los 40° GL establecidos por la norma. El volumen de Ron obtenido al final fue de 1900 ml aproximadamente.



En donde:

P: cantidad de líquido añejado = 1158,20 g

Q: cantidad de agua de mesa para la dilución final = 651,87 g

S: cantidad de virutas de roble usadas = 5 g

R: cantidad de ron obtenido a 40° GL = 1805.07 g

Balance para el bloque VII:

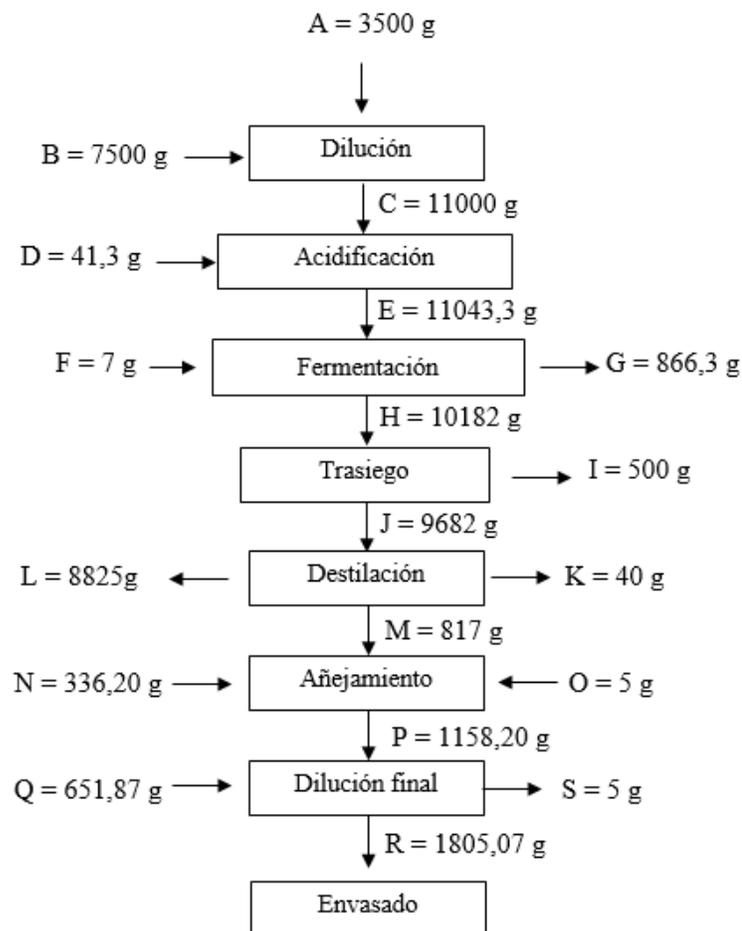
$$R = P + Q - S \quad [4.7]$$

De la ecuación [4.7]:

$$R = 1805.07 \text{ g}$$

4.5.8 Resumen del balance de materia.

Figura 4-8 Resumen del balance de materia en la elaboración de Ron joven a partir de melaza.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla IV-14: Resultados de corrientes en el balance de materia.

Balance de materia		
Corriente	Definición	Cantidad (g)
A	Melaza	3500
B	Agua de mesa	7500
C	Melaza diluida	11000
D	Ácido sulfúrico	41,3
E	Melaza acidificada	11041,3
F	Levadura	7
G	CO2 producido	866,3
H	Mosto fermentado	10182
I	Solido residual fermentación	500
J	Mosto fermentado separado	8682
K	Cabezas de destilación	40
L	Líquido residual destilación	8825
M	Etanol al 80° GL	817
N	Agua de mesa segunda dilución	336,20
O	Viruta de roble francés	5
P	Líquido añejado	1158,20
Q	Agua de mesa dilución final	651,87
R	Ron joven	1805,07
S	Viruta de roble usada	5

Fuente: Elaboración propia, 2021.

4.5.9 Cálculo del rendimiento del proceso Tecnológico

Para el cálculo del rendimiento del proceso tecnológico, se tomó en cuenta la cantidad de Ron joven final, respecto a la masa inicial de melaza de caña.

$$\text{Rendimiento (\%)} = (M_{\text{Ron}} / M_{\text{melaza}}) \times 100 \quad [4.8]$$

Donde:

$$M_{\text{Ron}} = 1805,3 \text{ g}$$

$$M_{\text{melaza}} = 3500 \text{ g}$$

De la ecuación [4.8]:

$$\text{Rendimiento (\%)} = 51,57 \%$$

4.6 ANÁLISIS DE COSTOS

4.6.1 Costo del estudio.

Para determinar el presupuesto de investigación se realizó la evaluación de costos directos, que se realizan durante la elaboración de todo el proyecto. Las siguientes tablas muestran los detalles de los costos indirectos.

Tabla IV-15: Detalle de costos totales de Materia Prima y Reactivos

Insumos	Cantidad	Unidad	Costo unitario (bs.)	Costo total (bs.)
Melaza de caña	30	L	5	150
Ácido sulfúrico	450	ml	0,35	157,5
Agua de mesa	96	L	0,9	86,4
Levadura SC	84	g	0,33	27,72
Viruta de roble	60	g	0,25	15
SUBTOTAL				436,62

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla IV-16 Detalle del costo total de Materiales

Insumos	Cantidad	Unidad	Costo unitario (bs.)	Costo total (bs.)
Papel filtro	2	pieza	5	10
Barril roble	1	pieza	400	400
Damajuana	2	pieza	10	20
Cacerola	1	pieza	30	30
Recipiente 12 L	2	pieza	30	60
Balde	1	pieza	10	10
Jarra 1 L	2	pieza	7	14
SUBTOTAL				544

Fuente: Elaboración propia, 2021

El resto de los materiales necesarios para la realización del estudio, fueron proporcionados por el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla IV-17 Detalle de costos de análisis de materia prima y producto

Descripción	Parámetros	Costo total (Bs)
Melaza de caña	Acidez	9
	Azúcares reductores	27
	Azúcares totales	30
	Ceniza	21
	Fosforo	27
	Humedad	12
	Materia seca	12
	Nitrógeno total	30
	PH	6
	Proteínas totales	30
	Sólidos solubles	6
Ron joven	Acidez	15
	Ceniza	21
	Extracto seco	12
	Grado alcohólico	18
	Metanol	30
	Aldehídos	42
	Esteres	42
	Furfural	42
	Alcohol superior	42
SUBTOTAL		474

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla IV-18: Detalle de costos material de apoyo.

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario (bs)	Valor total (bs)
Internet	Horas	150	3	450
Pasajes	-	50	1	50
Papel	Hojas	300	0,1	30
Anillado	-	3	7	21
Empastado	-	3	50	150
Mano de obra	Horas	100	30	3000
Subtotal				3701

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla IV-19: Detalle de costos Totales del estudio.

Descripción	Costo total (bs.)
Costo materia prima y reactivos	436,62
Costo de materiales	544,00
Costo de análisis	474,00
Costo material apoyo	3701,00
Imprevistos	471,90
Total	5627,52

Fuente: Elaboración Propia

El costo total de la investigación es de **5627,52** Bolivianos.

4.6.2 Costo de producción.

A partir de los balances de materia y los gastos energéticos de los equipos utilizados puede estimarse el costo de producción para la elaboración de Ron a partir de melaza de caña.

Los costos fijos asociados a los servicios básicos fueron; energía eléctrica 0,6 Bs/ KWh, agua 0,7 Bs/m³ y gas natural 1,55 Bs/m³

De los 3,16 kg de melaza de caña se obtiene aproximadamente 1800 ml de Ron Joven.

Las siguientes tablas estiman el costo de producción:

Tabla IV-20: Detalle de los costos de materia prima.

Insumo	Cantidad	Unidad	Costo unitario (bs.)	Costo total (bs.)
Melaza de caña	2,5	litro	5	12,5
Agua de mesa	8,5	litro	0,9	7,65
Levadura SC	7	gramo	0,33	2,31
Viruta de roble	5	gramo	0,25	1,25
Ácido sulfúrico	35	ml	0,35	12,25
Subtotal				35,96

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla IV-21: Detalle de los costos de energía de los equipos utilizados.

Equipo	Potencia (kW)	Tiempo (hr)	Energía (kWh)	Costo total (bs.)
Calentador eléctrico	0,30	0,33	0,10	0,06
Termostato	0,60	72,00	43,20	25,92
Columna destilación	0,40	5,00	2,00	1,20
Bomba de vacío	0,23	1,00	0,23	0,14
SUBTOTAL				27,32

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla IV-22: Detalle del costo de consumo de agua.

Agua	Cantidad	Unidad	Costo unitario (bs.)	Costo total (bs.)
Refrigerante destilación	0,735	m ³	0,7	0,51

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla IV-23: Detalle del costo del consumo de gas natural.

Gas natural	Cantidad	Unidad	Costo unitario (bs.)	Costo total (bs.)
Pasteurización melaza diluida	0,1	m ³	1,55	0,16

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para el cálculo del consumo de gas natural, se tomó como dato el consumo de una cocina de hornalla mediana que es de 0,15 m³/ hora, el tiempo de pasteurización en este trabajo fue de 40 minutos. Por regla de tres simple, el resultado obtenido fue de 0,1 m³ de gas natural consumido en el calentamiento de la melaza de caña.

El costo total de producción es la suma de los costos de materia prima, consumo energético de los equipos, consumo de agua y gas natural.

$$\text{Costo total} = 35,96 + 27,32 + 0,51 + 0,16$$

$$\text{Costo total} = \mathbf{63,95 \text{ Bs.}}$$

Para la producción de 1900 ml de ron Joven a partir de melaza de caña del Ingenio Azucarero de Bermejo se tiene un costo aproximado de 64 Bs. Por regla de tres simple, el costo por litro del ron joven es de 33,70 bolivianos.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Se logró elaborar exitosamente, a escala laboratorio, Ron joven a partir de melaza de caña producida en el Ingenio Azucarero de Bermejo, departamento de Tarija.

En consecuencia a los objetivos planteados en el presente proyecto, se manifiestan las siguientes conclusiones:

- Se utilizó melaza de caña de azúcar proveniente del Ingenio Azucarero de Bermejo. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos determinados por el CEANID fueron: acidez (como ácido tartárico) de 0,56 %, azúcares totales de 66,61 %, azúcares reductores del 16,98 %, ceniza del 9,44 %, humedad del 18,66 %, materia seca del 81,34 %, proteína total 2,42 %, Fosforo de 82,1 mg/100 g, nitrógeno total de 0,39 g / 100 g, pH de 6,4 y 78° Brix de sólidos solubles.
- El método de destilación seleccionado es el de destilación en columna, considerando un mejor rendimiento, menor costo energético y menor complejidad a diferencia del método de destilación con alambique.
- Las variables estudiadas en el proceso de elaboración de Ron a partir de melaza de caña fueron pH y temperatura en el proceso de fermentación. Concluida la parte experimental, se determinó que las condiciones óptimas del proceso son el pH con valor de 5 y la temperatura de fermentación de 30° C. En estas condiciones, se obtuvo un mosto fermentado con grado alcohólico de 11° GL.
- Los parámetros fisicoquímicos del Ron requeridos por la normativa NB: 324012 que fueron determinados en el CEANID, son los siguientes: acidez total (como ácido acético) de 18,19 mg/100 ml, ceniza de 0,3 g/1000 ml, Grado alcohólico de 40° GL, extracto seco total de 2,52 g/1000 ml y metanol menor a 1 ml/litro. En el CEVITA se determinó: Aldehídos del 125 mg/ 100 ml, furfural

de 0,6 mg/ 100 ml, esteroides de 117 mg/ 100 ml y alcoholes superiores de 96,2 mg/ 100 ml.

- Según el balance de materia, a partir de 3500 gramos de melaza de caña del ingenio azucarero de Bermejo se obtiene 1805,07 gramos de Ron joven. El rendimiento del proceso respectivo a la elaboración de Ron joven a partir de melaza de caña es de 51,57 %.
- El costo de producción en la elaboración (a escala laboratorio) de Ron joven a partir de melaza de caña del Ingenio Azucarero de Bermejo fue de 63,95 Bs para obtener aproximadamente 1,9 litros de Ron.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Aplicar un tratamiento de clarificación a la melaza de caña posterior a la pasteurización de esta. Con el fin de mejorar el rendimiento en la fermentación y por ende mejorar el rendimiento alcohólico.
- Realizar el estudio con otras alternativas de levaduras, por ejemplo las levaduras turbo, para poder encontrar mejor eficiencia durante el proceso de fermentación.
- Realizar el estudio diluyendo el mosto a 15° Brix, con un pH ajustado a valor 3, a una temperatura de fermentación de 32°C y realizar la activación de levaduras, empleando un volumen que signifique un 1/15 del volumen total del mosto. Además, insuflar aire filtrado para realizar la agitación necesaria, con el fin de mejorar la eficiencia fermentativa.
- Para futuros estudios, recuperar la crema de levadura mediante centrifugado al finalizar la fermentación del primer ensayo con el fin de aprovechar mejor este insumo, reduciendo costos y mejorando el proceso fermentativo.
- Realizar el estudio con cromatografía de gases de los productos generados en la fermentación alcohólica para tomar en cuenta la concentración de congéneres como aldehídos, furfural, alcoholes superiores y metanol.

- Realizar el estudio empleando mayores tiempos de añejamiento del aguardiente y efectuar los análisis fisicoquímicos y sensoriales.
- Estudiar otros métodos de filtración y clarificación del Ron, como por ejemplo el tratamiento con carbón activado, con el propósito de hacer más eficiente el mismo, reducir la cantidad de congéneres y disminuir los costos de producción.
- Realizar el proyecto de elaboración de Ron Joven a partir de melaza de caña del Ingenio Azucarero de Bermejo con un estudio detallado de costos para determinar si el mismo es factible a nivel de producción industrial.
- Recomendar a la empresa IABSA y a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho a realizar estudios de pre factibilidad y planta piloto para la elaboración de Ron.