

EMARCO TEORICO

CAPITULO I

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1. GENERALIDADES DEL ALGARROBO

El Algarrobo blanco es una de las especies nativas más importantes de nuestro país y tiene una extensa área de distribución que incluye los ecosistemas forestales de toda la Región Chaqueña de Argentina. Presente también en Brasil, Paraguay y Bolivia.

La Región Chaqueña es una gran llanura subtropical con serranías de escasa elevación hacia el oeste. Las temperaturas máximas absolutas son de 44° C y las mínimas de -5 ° C a -10° C. Las precipitaciones varían desde 300 milímetros (mm) anuales en el sector sudoeste hasta los 1.200 anuales en el sector noreste.

Prosopis Alba es una especie de árboles pioneros, heliófilos, adaptados a condiciones de climas áridos y semiáridos con suelos salinos y degradados.

La Prosopis Alba es considerada rústica, tiene una gran plasticidad, y soporta condiciones extremas de humedad y temperatura. También es fijadora de nitrógeno en simbiosis con bacterias.

Si bien se han realizado plantaciones con esta especie, se trata de forestaciones jóvenes que no han llegado aún a su turno de corta final, por lo que la madera que se utiliza proviene en su totalidad del bosque nativo.

De acuerdo con información de la Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable, en 2009 se extrajeron 160 mil toneladas, de las cuales más del 70 % fueron de la Región Chaqueña.

Los productos se clasificaron por orden de importancia cuantitativa en: rollizos, leña, rodrigones, postes y trocillos. En la provincia de Chaco se estima una producción de 100 mil toneladas anuales, con destino a la producción de muebles.

Las estadísticas de la Dirección de Bosques de la provincia de Chaco contabilizan en 2010, 51.491 toneladas de rollos (valor de materia prima puesta en establecimientos industriales), correspondiente al cómputo de guías y vales de transporte.

En cuanto a la superficie forestada con algarrobo se estima en 6 mil ha en la provincia de Chaco y en 2005 se plantaron 2 mil en la provincia de Formosa.

Ing. Ftal. Di Marco, Ezequiel Área Técnica Promoción Dirección de Producción Forestal MAG y P. edimar@minagri.gob.ar

1.2. PRODUCCION DE ALGARROBA EN TARIJA

En el departamento de Tarija el algarrobo se encuentra en su mayoría en el chaco Tarijeño (Villa Montes), región autónoma Gran Chaco, por las características de clima.

En la región de Gran Chaco es una formación semi-áridas que revela diferencias en el clima regional. Las temperaturas son altas durante todo el año, el promedio oscila entre 18 y 25 ° C, y en verano a menudo excede el 40 ° C. Las temperaturas diarias cambio intensamente, y vienen a registrarse en un solo día, entre 15 y 20 C diferencia entre máximo y mínimo.

(http://www.santacruz.gob.bo/sczturistica/asies/turismo_destino/contenido/3215/300160)

TABLA I- 1. SUPERFICIE TERRITORIAL Y PRODUCCION DE ALGOROBO

Área	Especies	superficie(ha)	%
Tarija	4	0,5	0,53
Padcaya	1	1	0,61
Yacuiba	7	27,1	11,28
Carapari	4	2	0,51
Villa Montes	19	79,73	54,07
Entre Ríos	2	0,6	1,17
Totales	35	110,93	67,3

Fuente: Instituto Nacional de Estadística INE, 2013.

1.3. VARIEDAES DE ALGARROBOS

La mayor parte de las variedades de algarrobo cultivadas en el mundo provienen de la cuenca Mediterránea.

España es el primer productor de algarroba y, también, es el país que tiene una mayor biodiversidad de variedades cultivadas, superior al centenar, y las cuales se distribuyen en varias Autonomías, destacando la Ciudad de Valenciana, Cataluña, Baleares, Murcia y Andalucía. A continuación, se describen en la tabla I-2. las más importantes

**TABLA I- 2. VARIEDADES DE ALGARROBOS CULTIVADAS EN
DIFERENTES LOCALIDADES DE ESPAÑA**

ESPECIE	EPOCA DE RECOLECCION
Banya de cabra	Media (mediados de septiembre)
Rojal	Media
Negra	Media y alternamente
Ralladora	Media
Casuda	Media
Matalafera	Temprana(agosto)
Melera	Media
Duraio	Media
Bugadera	Media
Ramillite	Tardía (octubre)
Sayalonga	Media-tardía

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Las observaciones citadas provienen de parcelas experimentales localizadas en distintas zonas del litoral español.

<http://www.garrofa.org/noticias/todo-sobre-la-garrofa/variedades/>

1.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ALGARROBA

El fruto o vaina de algarrobo tiene la siguiente composición:

TABLA I- 3.COMPOSICION QUIMICA DE P. PALLIDA

Componente	%
Humedad	18.43
Proteína	13.56
Grasa	4.3
Extracto no nitrogenado	29.69
Fibra Bruta	28.25
Residuo mineral	5.77
Fósforo	0.42
Calcio	1.86

Fuente: Francisca María Galera, 2000.

1.4.1. PULPA

La pulpa representa aproximadamente el 56% del peso total del fruto.

En la República del Perú se han realizado varios estudios para determinar, lo más completamente posible, la composición química de la pulpa de *P. Pallida*, los resultados se resumen en la siguiente tabla I-4, es importante resaltar el reciente estudio del contenido de taninos, en la pulpa y demás fracciones de la algarroba y las posibles formas de eliminación, ya que estos componentes le dan un sabor amargo y astringente, que para algunos es desagradable.

TABLA I- 4. COMPOSICION GENERAL DE LA PULPA DE *P. PALLIDA*

Componente	<i>Prosopis Sp</i> (gramos)
Azucares Totales	48,49 ± 2.56
Sacarosa	46.35
Fibra dietética total	32.22 ± 0.82
Proteína	8.11 ± 0.80
Grasa	0.77 ± 0.12
Cenizas	3.60 ± 0.17
Fibra dietética total	32.22 ± 0.82

Fuente: Francisca María Galera, 2000.

Valor medio + desviación típica

La fracción mayoritaria en el fruto la constituyen los azúcares solubles que representan alrededor del 50% del peso total. Está constituida por sacarosa, 95,4% y el resto por pequeñas cantidades de glucosa, fructuosa, galactosa, xilosa, arabinosa y fucosa.

Las sustancias solubles en etanol al 80% representan un 52,4% dado que un 48,5% corresponde a azúcares solubles y alrededor de 1% a polifenoles. La pulpa tiene un contenido bajo de grasa (0,8%), pocos polifenoles y un contenido bajo de taninos condensados.

1.4.2. ENDOCARPIO

El endocarpio (carozo) es una capsula dura y fibrosa en la cual está encerrada la semilla.

La composición química del endocarpio de *P. Pallida* se muestra en la tabla I-5

La fibra dietética insoluble es el componente mayoritario del endocarpio. el análisis más detallado de esta fracción muestra a polisacáridos celulósicos (40%) y lignina (17%) como sus principales constituyentes.

La semilla contiene un cotiledón de *P. Pallida* contiene 65% de proteína, lo cual representa el 31% del peso de la misma .la composición de aminoácidos de las proteínas en el cotiledón se muestra en la tabla I-5

Composición de la fracción indigestible (fibra dietética más componentes asociados) en la pulpa (% materia seca):

TABLA I- 5. COMPOSICIÓN DE LA FRACCION INDIGESTIBLE

Componente	<i>Prosopis Pallida</i>
Polisacáridos insolubles	20.16±0.52
Lignina	10.44±0.21
Fibra dietética insoluble	30.6
Fibra dietética soluble	1.62
Fibra dietética total	32.22
Taninos condensados	0.33±0.04
Proteína resistente	2.20±0.13
Polifenoles solubles	0.08±0.01
Fibra tot, mas com. Asoc.	34.83

Valor medio +-desviación típica.

Fuente: Francisca María Galera, 2000.

1.5. REQUERIMIENTO AGROECOLÓGICO

1.5.1. LUZ SOLAR

Requiere de por lo menos ocho horas diarias de sol para florar y fructificar, hecho que se produce generalmente entre los meses de octubre y abril.

1.5.2. PRECIPITACIÓN

Desarrolla bien con 250 a 500 milímetros de precipitación media anual, siendo favorable la faja de 125 a 250 milímetros. En la costa norte es recomendable sembrarlo entre octubre y noviembre, aprovechando las lluvias de verano.

1.5.3. ALTITUD

Desarrolla desde el nivel del mar hasta los 1,500 metros sobre el nivel del mar, sin embargo, los mejores ejemplares se encuentran entre los 50 y 400 metros sobre el nivel del mar.

1.5.4. BAJAS TEMPERATURAS

Las temperaturas inferiores a 5° C pueden originar la muerte del árbol, por la paralización de la circulación de la savia.

1.5.5. ALTAS TEMPERATURAS

Soporta altas temperaturas. En época de verano tolera hasta 45° C.

1.5.6. TIPO DE SUELO

El algarrobo una especie rústica, que crece en zonas planas u onduladas. Prefiere suelos de tipo franco-arenoso y arcillo-arenoso, con un pH neutro, pudiendo desarrollar incluso en suelos salinos. Es una especie que tolera largos períodos de sequía. (Perú Ecológico /Actualización: enero 2009)

1.6. FLORACIÓN

En las inflorescencias de *P. Pallida* en Chiclayo, los capullos florales antes de la antesis tienen el 96% de sus estilos fuera del capullo, y conservan esta condición por algunos días hasta el momento de la antesis, casi simultáneamente en todas las flores de la inflorescencia. Son verdes, cuando se abre la flor toma un color blanquecino por los filamentos de los estambres y los pétalos y sépalos, después se tornan amarillos. No se conoce con precisión el agente polinizador. La floración varía de un año a otro, por ejemplo, en los valles de Zuña y Chancay, la floración se inicia en diciembre, termina en febrero, mientras que en los valles de Motupe y Olmos es de octubre a diciembre.

En plantaciones forestales efectuadas en suelos sueltos y arenosos, creciendo en suelos calcáreos y pedregosos e irrigados con agua salina, el fructificación se inicia al tercer año. La floración más abundante y estable se inicia al séptimo año.

(<http://www.fao.org/docrep/006/AD314S/AD314S08.htm>)

1.7. FRUTO

El fruto es una vaina o caucha chata, recta o curvada, de 12 a 15 cm de longitud, 1 a 2 cm de ancho y 5mm de espesor, color amarillento, carnosos y dulce, la mayor producción de las vainas o frutos, del algarrobo (*Prosopis Alba Griseb*) comienza a los cinco años de vida del árbol y produce de 5 a 40 kilogramos por árbol por año.

En la tabla I-6. Se puede observar los parámetros morfológicos de los frutos y semillas

(<https://bisbiseos.wordpress.com/2011/07/04/el-árbol-el-algarrobo/>)

**TABLA I- 6. PARAMETROS MORFOLÓGICOS DE FRUTOS Y SEMILLAS
PARA DIFERENTES ESPECIES DE ALGARROBO**

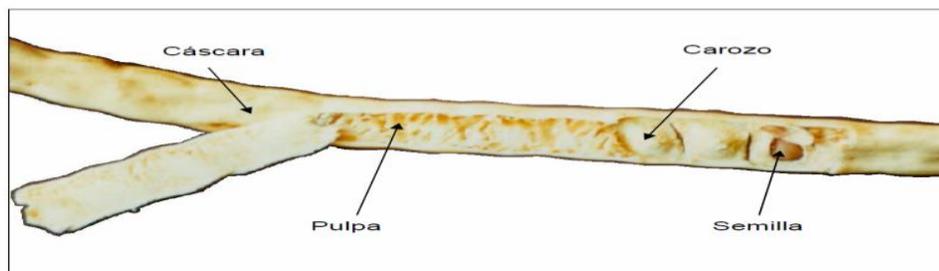
Parámetros	<i>Prosopis Alba</i>	<i>Prosopis Pallida</i>
longitud del fruto (cm)	20,40	19,20
ancho del fruto(cm)	1,68	1,57
espesor del fruto (cm)	0,56	0,83
peso de fruto (gr)	9,11	11,98
semillas por fruto (unidades)	30,50	25,48
longitud de semillas (mm)	6,88	7,50
ancho de semillas(mm)	4,94	5,45
espesor de semilla(mm)	2,01	2,31

Fuente: Dante Prokopiuk; G. Cruz; n. grados; O. Garro y Chiralt, 2000.

1.8. PARTES DE LA ALGARROBA

El fruto del algarrobo está constituido por una legumbre alargada de color verde inicialmente, que posteriormente cuando está madura se torna de color amarillo pardo. Es multiseminada, encorvada e inhiscente; su forma, tamaño, espesor y peso es variado. La vaina consta de cuatro partes: como se muestra en la figura 1-1.

**FIGURA 1- 1. ALGARROBO MADURO DE PROSOPIS ALBA
(ASPECTO INTERNO)**



Fuente: Dante Prokopiuk, G. Cruz, N. Grados, O. Garro y A. Chiralt, 2000.

1.8.1. EXOCARPIO (CASCARA)

Mesocarpio (pulpa): el mesocarpio más conocidos como la pulpa de algarroba, contiene un alto nivel de sacarosa (46.35%) y fibra dietética (32.2%), en la pulpa también están presentes minerales entre los que se destaca el potasio que se encuentra en un 2.65% así mismo contiene vitamina C (60mg/kg) y el ácido nicotínico (31 mg/kg)

1.8.2. ENDOCARPIO (CAROZO)

El endocarpio está compuesto mayoritariamente por fibra dietética insoluble (70.8%). puede usarse en la preparación de alimentos dietéticos

1.8.3. SEMILLAS

Las semillas se fraccionan a su vez en:

1.8.3.1. EPISPERMO

Representa la cascara de la semilla. El componente que se presenta en mayor proporción en la fibra dietética (75.2%). El epispermo presenta en mayor cantidad de taninos condensados (2.7%)

1.8.3.2. ENDOSPERMO

También llamado goma de semilla, tiene un alto contenido de fibra dietética, la fibra dietética es mayoritariamente un galactomanano, gracias a esto, se puede utilizar en diferentes industrias, aprovechando sus propiedades de espesante, gelificante estabilizante, etc.

Cotiledón: en el cotiledón, las proteínas son las que se presentan en mayor proporción (69%). debido a que posee ciertos aminoácidos esenciales como la leucina, fenilalanina, lisina, isoleucina, histidina, arginina.

Ruiz, Walter; Cruz, Gastón; Grados, Nora. “Aprovechamiento integral de la algarroba (*Prosopis sp.*) Como medio para impulsar y promover el desarrollo sostenible de los bosques secos de la Región Grau”

FIGURA 1-2. COMPOSICION MORFOLOGICA DE LA ALGARROBA



Fuente: Repositorio institucional PIRHUA, 2000.

1.9. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

1.9.1. ALTURA

Puede llegar a alcanzar alturas de 8 a 20 metros. Su fuste es irregular, tortuoso y nudoso, con un diámetro entre 80 cm y 2 metros.

1.9.2. COPA

Por lo general tiene forma de sombrilla muy amplia que sobrepasa los 15 m de diámetro, posee ramas de formas caprichosas y abundante follaje siempre verde. En algunos casos tiene ramas colgantes que llegan al suelo.

1.9.3. CORTEZA

La parte externa de color pardo-gris-negrucza, fisurada, leñosa y ocasionalmente con espinas. La parte interna de color blanco y rojo, con olor a barniz y textura fibrosa.

1.9.4. HOJAS

Perennes y compuestas, con el peciolo bastante corto y los folíolos elípticos, de borde entero y nervadura central en el envés. Las orugas verdes son las principales minadoras de sus hojas.

1.9.5. FLORES

Crecen en largas espigas axilares. Son pequeñas, de color amarillo pálido, pubescente, caliz campanulado y corola con 5 pétalos separados. La flor de este árbol es muy susceptible a cambios de temperatura y fuertes vientos.

1.9.6. FRUTOS

Son unas vainas de pulpa dulce y carnosas, que miden de 10 a 30 cm de largo, 1 a 1.5 cm de ancho y de 5 a 9 mm de espesor.

1.9.7 SEMILLAS

De color grisáceo o pardo, forma ovoidea y aplanada, y presentes en un número de 20 a 30 por vaina. Algunos depredadores de las semillas son el pampero peruano y las lagartijas, quienes se las alimentan de ellas.

1.9.8. RAÍCES

Posee 2 tipos de raíces bien diferenciadas, que le permiten obtener los nutrientes que requiere el árbol:

1. Tiene una o dos raíces pivotantes de hasta 60 m de profundidad, que le permiten obtener agua a distintas profundidades.
2. Las raíces laterales se extienden hasta por 60 m por encima de la superficie a una profundidad de 15 a 25 cm.

Texto Dr. Joan Tous Martí. Las observaciones citadas provienen de parcelas experimentales localizadas en distintas zonas del litoral español.

1.10. ETANOL

El alcohol etílico o etanol es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales, tales como cereales, remolacha, caña de azúcar, sorgo o biomasa.

Estos azúcares están combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa.

Las plantas crecen gracias al proceso de fotosíntesis, en el que la luz del sol, el dióxido de carbono de la atmósfera, el agua y los nutrientes de la tierra forman moléculas orgánicas complejas como el azúcar, los hidratos de carbono y la celulosa, que se concentra en la parte fibrosa de la planta con un contenido aproximado del 5% de agua, que tras ser deshidratado se puede utilizar como combustible.

El etanol mezclado con la gasolina produce un biocombustible de alto poder energético con características muy similares a la gasolina, pero con una importante reducción de las emisiones contaminantes en los motores tradicionales de combustión.

El etanol se usa en mezclas con la gasolina en concentraciones del 5 o el 10 %, E5 y E10 respectivamente, que no requieren modificaciones en los motores actuales.

Un obstáculo importante es la legislación europea sobre la volatilidad de las gasolinas que fija la proporción de etanol en mezclas E5. Concentraciones más elevadas, autorizadas en Suecia y Estados Unidos, implica que se debe disponer de un vehículo flexible (FFV), con un depósito, motor y sistema de combustible único capaz de funcionar con gasolina y etanol, solos o mezclados en cualquier proporción.

La otra alternativa para su uso es en forma de aditivo de la gasolina como etil-terbutil eter (ETBE).

Las especificaciones para la utilización de etanol se compendian en la norma Europea de Gasolinas EN 228, en España se encuentra transpuesta la Directiva 2003/17/CE relativa a la calidad de las gasolinas y gasóleo, en el Real Decreto R.D. 61/2006 de las especificaciones y uso de carburantes.

(F. J. Guerra, C. Mallén, A. Struck, T. Varela 10)

Las principales fuentes actuales de producción de etanol a nivel mundial son en orden alfabético: caña de azúcar, remolacha, sorgo dulce, yuca Caña de azúcar

1.11. PRODUCCIÓN DE ALCOHOL ETILICO EN BOLIVIA

1.11.1. ALCOHOL BOLIVIANO EXPORT

El Ingenio Azucarero Guabirá S.A., está ubicado a 58 kilómetros de la ciudad de Santa Cruz y a 3 kilómetros de la ciudad de Montero. El Gobierno encomendó su instalación a la Corporación Boliviana de Fomento (CBF) en julio de 1953, con el objetivo de promover el desarrollo económico y social en la región norte del departamento, además de cubrir la demanda de azúcar.

Tres años más tarde, en julio de 1956 se puso en marcha la primera fábrica de azúcar y alcohol con diseño funcional y con una capacidad de molienda de 1000 toneladas de caña por día, que estimuló el desarrollo de la industria azucarera nacional y el progreso de la región. Después de 37 años de operaciones, el Ingenio se privatiza en el marco de una política aprobada por el H. Congreso Nacional en junio de 1993. Desde esa fecha hasta la actualidad el Ingenio ya privatizado fue ampliando su capacidad gradualmente hasta 7500 toneladas de caña por día.

Guabirá ha liderado la exportación de alcohol, actividad que iniciaron hace más de diez años atrás vendiendo su producto a la Argentina y Perú con volúmenes que fluctuaban entre los 3 y 4 millones de litros anuales.

El contacto con estas empresas hizo que rápidamente el mercado de Guabirá se expanda hacia los Estados Unidos y Japón. “Con el propósito de renovar estos mercados fue que se logró incorporar alcohol Guabirá al mercado europeo y de ese modo encontraron en este continente un valioso nicho de mercado porque gozan de una preferencia arancelaria que hace que el alcohol boliviano pueda ingresar a Europa de manera mucho más ventajosa que el alcohol brasileño o argentino” señala Trepp. Actualmente gracias a esta preferencia arancelaria otros productores bolivianos también están aprovechando este nicho europeo exportando importantes volúmenes de alcohol.

Europa emplea el alcohol Boliviano para la fabricación de bebidas, perfumes y de cosméticos principalmente.

Guabirá ha ingresado a este mercado con volúmenes de 3 a 5 millones de litros, superando en la pasada gestión una exportación de 44 millones de litros y para la gestión 2007 pensaron sobrepasar los 55 millones de litros al viejo continente, “en más de 10 años de exportación han logrado consolidar un mercado, donde el alcohol boliviano tiene mucho prestigio”.

Entre su gama de productos Guabirá ofrece una gran variedad de alcoholes para el consumo directo, como también para la elaboración de productos industriales, químicos y fármacos.

El procedimiento de exportación que comúnmente utiliza Guabirá es a través de un intermediario que ofrece el servicio de Trader, éste recibe el cargamento y se encarga de distribuirlo y venderlo en Italia, Alemania, España y a países de la Ex Unión Soviética que son consumidores importantes de alcohol etílico.

Trepp Del Carpio indica que las perspectivas del Ingenio Guabirá son las de incrementar su volumen de exportación a 100 millones de litros, “si bien ahora Europa es cliente exclusivo de Guabirá nuestros planes son ingresar a nuevos mercados del continente americano y llegar a una producción cada vez más importante de alcoholes y disminuir un poco nuestra producción de azúcar porque tenemos mucha caña y el mercado del azúcar lamentablemente no permite muchas expansiones, pero al contrario se avizora un gran futuro para el alcohol”. Además de ello, Guabirá aún tiene latente las intenciones de ingresar al negocio del alcohol carburante que es el mismo producto que elaboran, pero deshidratado. “El llamado etanol es el que se mezcla con la gasolina y con el que se pretende disminuir la contaminación y trabajar con recursos renovables” remarca el gerente general azucarero.

El ingenio Guabirá cuenta con una destilería anexa a la fábrica de azúcar en la cual trabajan cerca de 25 personas exclusivamente en la producción del alcohol.

Guabirá ha recibido la distinción como “Mayor Exportador Nacional” en 1996, 1999, 2000, 2001, estatuilla conferida por la Cámara de Exportadores por el mérito de mayor exportador nacional en el rubro azucarero y de alcohol, Santa Cecilia crece y exporta

El año 1948 dos visionarios italianos decidieron radicar en Bolivia y 11 años después iniciaron una empresa de producción agrícola en el norte cruceño, fue así que Michele Ferrero y Giuseppe Bertero fundaron la Sociedad Santa Cecilia.

A pesar de que se iniciaron como cañeros, diferentes circunstancias hicieron que opten por dedicarse a la elaboración de alcohol a través de una pequeña destilería. A lo largo de los años esta fábrica fue creciendo poco a poco hasta que a comienzos de la década de los ‘90 se realizó una importante inversión, pasando de una producción diaria de 9.000 litros a una de 40.000 litros de alcohol etílico.

Hoy por hoy Santa Cecilia es una empresa dedicada al ramo agroindustrial, teniendo como sus principales ejecutivos a los señores Jorge Velasco Bruno y Fulvio Ferrero Mantovani, cuyo principal producto es el alcohol etílico que se obtiene en forma directa del jugo de la caña de azúcar, y que gracias a este proceso se obtiene un producto de alta calidad.

A partir del año 2000, Santa Cecilia se dedica a realizar pequeñas ampliaciones y mejoras en su planta industrial, pero concentra sus mayores esfuerzos en mejorar la productividad de sus cañaverales, habiendo adquirido nuevas variedades de caña de azúcar que han permitido mejorar considerablemente los rendimientos en el campo.

Santa Cecilia sale a países europeos hasta hace unos años atrás el mercado del alcohol a nivel internacional tenía precios muy bajos, lo que no incentivaba a buscar nuevos mercados externos. Pero a partir del año 2004 los precios internacionales experimentaron una subida, hecho que provocó que Santa Cecilia comience a exportar su producto principalmente a Perú, donde hoy en día goza de un gran prestigio gracias a su calidad.

En el año 2006 Santa Cecilia da un paso importante al conseguir colocar su producto en el mercado Europeo, el cual puede constituirse en el futuro próximo como un mercado importante para el alcohol. “En realidad el mercado europeo se les abrió gracias al permanente intercambio de información con valiosos contactos en el rubro, cada oportunidad que tenían de conversar con gente de afuera aprovechaban para explicar las bondades de su producto, hasta que el año pasado hicieron su primera exportación a Holanda y que actualmente se puede abrir las puertas para los mercados de Italia y Francia” manifiesta Fulvio Ferrero.

Si bien ahora la atención de Santa Cecilia se centra en la exportación de alcohol al mercado externo, tampoco descuidan el normal abastecimiento al mercado local. De los 40 mil litros diarios que se producen, aproximadamente el 75% se destina a la exportación y el 25% al mercado nacional.

Santa Cecilia se encuentra ubicada en el Km. 27 de la carretera Montero y Okinawa, a una hora y media de la ciudad de Santa Cruz. En época de zafra Santa Cecilia llega a emplear a 200 personas y en temporada ordinarias entre 80 a 100 personas. Esta empresa se enorgullece de contar con un personal técnico muy competente, que se destaca por su eficiencia, dedicación y lealtad en sus labores. Por este motivo, afirman ambos ejecutivos, la empresa se siente comprometida en ofrecer a su personal las mejores condiciones posibles para realizar sus actividades, brindando a sus empleados y familias en forma gratuita vivienda, servicios básicos, además de su escuela para coadyuvar en la educación de los niños.

Las exigencias del mercado internacional

Los empresarios europeos se caracterizan por ser muy serios y exigentes en este tipo de transacciones comerciales, es por ello que se efectúa un permanente análisis del producto fiscalizando que se cumpla con los estándares de calidad en su mercado.

En cuestión del transporte del producto, se tiene que prevenir que la logística sea la más adecuada, de transportar el alcohol en camiones especiales, que los tanques se

encuentren permanentemente limpios, que los barcos en los que se trasladan hasta Italia tomando en cuenta la fragilidad de este producto.

(<http://santacruzempresa.blogspot.com/2007/07/alcohol-boliviano-for-export.html>)

1.12. LEVADURAS

La levadura *S. cerevisiae* es un hongo unicelular responsable de gran parte de las fermentaciones alcohólicas.

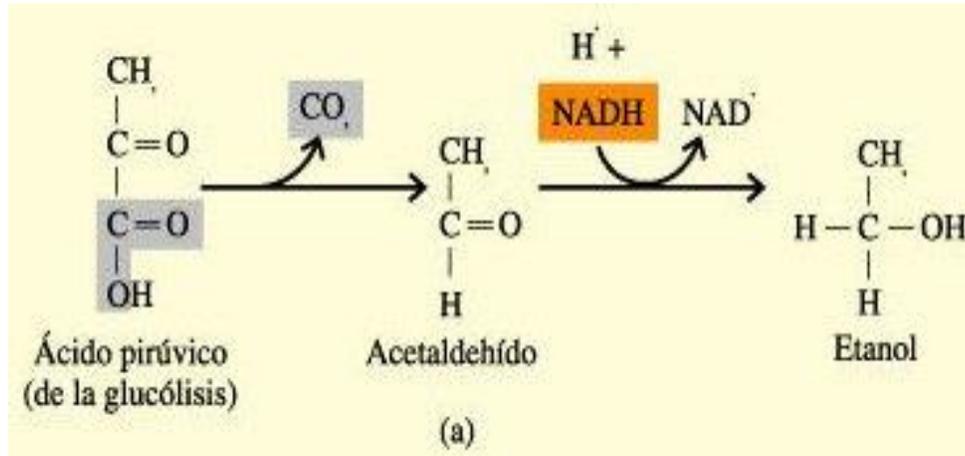
Las levaduras son cuerpos unicelulares (generalmente de forma esférica) de un tamaño que ronda los 2 a 4 μm y que están presentes de forma natural en algunos productos como las frutas, cereales y verduras. Son lo que se denominan: organismos anaeróbicos facultativos, es decir que pueden desarrollar sus funciones biológicas sin oxígeno. Se puede decir que el 96% de la producción de etanol la llevan a cabo hongos microscópicos, diferentes especies de levaduras, entre las que se encuentran principalmente *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluveromyces fragilis*, *Torulaspota* y *Zymomonas mobilis*.

Los microorganismos responsables de la fermentación son de tres tipos: bacterias, mohos y levaduras. A veces estos microorganismos no actúan solos, sino que cooperan entre sí para la obtención del proceso global de fermentación. Las propias levaduras se han empleado a veces en la alimentación humana como un subproducto industrial. Se ha descubierto que en algunos casos es mejor inmovilizar (reducir el movimiento) de algunas levaduras para que pueda atacar enzimáticamente mejor y con mayor eficiencia sobre el sustrato de hidratos de carbono evitando que los microorganismos se difundan.

Cuando el medio es rico en azúcar (como puede ser el caso de las melazas o siropes), la transformación del mismo en alcohol hace que la presencia de una cierta concentración (generalmente expresada en grados brix) afecte a la supervivencia de levaduras no pudiendo realizar la fermentación en tal medio (las altas concentraciones de azúcar frenan los procesos osmóticos de las membranas de las células). Algunos enzimas participan en la fermentación, como puede ser la diastasa o la invertasa.

Aunque la única responsable de convertir los hidratos de carbono en etanol y dióxido de carbono es la *zimasa*. La *zimasa* es la responsable final de dirigir la reacción bioquímica que convierte la glucosa en etanol.

FIGURA 1- 3. BIOQUÍMICA DE LA REACCIÓN DE FERMENTACIÓN



Fuente: Metztlig, 2010.

1.12.1. BIOQUÍMICA DE LA REACCIÓN DE FERMENTACIÓN

La glucólisis es la primera etapa de la fermentación, lo mismo que en la respiración celular, y al igual que ésta necesita de enzimas para su completo funcionamiento. A pesar de la complejidad de los procesos bioquímicos una forma esquemática de la reacción química de la fermentación alcohólica puede describirse como una glicólisis (en la denominada *vía Embden-Meyerhof-Parnes*) de tal forma que puede verse como participa inicialmente una molécula de hexosa: Se puede ver que la fermentación alcohólica es desde el punto de vista energético una reacción exotérmica, se libera una cierta cantidad de energía. La fermentación alcohólica produce gran cantidad de CO_2 , (al igual que el Champagne y algunos vinos) tengan burbujas. Este CO_2 (denominado en la edad media como *gas vinorum*) pesa más que el aire, y puede llegar a crear bolsas que desplazan el oxígeno de los recipientes donde se produce la fermentación. Por ello es necesario ventilar bien los espacios dedicados a tal fin. La liberación del dióxido de carbono es a veces "tumultuosa" y da la sensación de hervir,

de ahí proviene el nombre de fermentación, palabra que en castellano tiene por etimología del latín *fervere*.

Un cálculo realizado sobre la reacción química muestra que el etanol resultante es casi un 51% del peso, los rendimientos obtenidos en la industria alcanzan el 7%. Se puede ver igualmente que la presencia de fósforo (en forma de fosfatos), es importante para la evolución del proceso de fermentación. La fermentación alcohólica se produce por regla general antes que la fermentación maloláctica, aunque existen procesos de fermentación específicos en los que ambas fermentaciones tienen lugar al mismo tiempo.

En más detalle durante la fermentación etílica en el interior de las levaduras, la vía de la glucólisis es idéntica a la producida en el eritrocito (con la excepción del piruvato que se convierte finalmente en etanol). En primer lugar el piruvato se descarboxila mediante la acción de la piruvato descarboxilasa para dar como producto final acetaldehído liberando por ello dióxido de carbono (CO_2) a partir de iones del hidrógeno (H^+) y electrones del NADH. Tras esta operación el NADH sintetizado en la reacción bioquímica catalizada por el GADHP se vuelve a oxidar por el alcohol deshidrogenasa, regenerando NAD^+ para la continuación de la glucólisis y sintetizando al mismo tiempo etanol. Se debe considerar que el etanol va aumentando de concentración durante el proceso de fermentación y debido a que es un compuesto tóxico, cuando su concentración alcanza aproximadamente un 12% de volumen las levaduras tienden a morir. Esta es una de las razones fundamentales por las que las bebidas alcohólicas (no destiladas) no alcanzan valores superiores a los 20% de concentración. (<https://es.wikipedia.org/wiki/Gluc%C3%B3lisis>)

1.13. FACTORES QUE INTERVIENE EN LA FERMENTACION ALCOHOLICA

La determinación de los factores que limitan la glicólisis fermentativo del etanol son complejos debido a la interrelación existente y a la naturaleza de los parámetros intervinientes durante el proceso de fermentación. Algunos de ellos se deben tener en

cuenta en la fermentación alcohólica industrial. En las limitaciones que surgen durante el proceso se pueden enumerar algunos de los más importantes como son:

1.13.1. CONCENTRACIÓN DE ETANOL RESULTANTE

Una de las principales limitaciones del proceso, es la resistencia de las levaduras a las concentraciones de etanol (alcohol) que se llegan a producir durante la fermentación, algunos microorganismos como el *Saccharomyces cerevisiae* llegando a soportar hasta el 20% de concentración en volumen. En ingeniería bioquímica estos crecimientos se definen y se modelizan con las ecuaciones de crecimiento celular dadas por las ecuaciones de Tessier, Moser y de la ecuación de Monod.

1.13.2. ACIDEZ DEL SUSTRATO

El pH es un factor limitante en el proceso de la fermentación ya que las levaduras se encuentran afectadas claramente por el ambiente, bien sea alcalino o ácido. Por regla general el funcionamiento de las levaduras está en un rango que va aproximadamente desde 3.5 a 5.5 pH. Los procesos industriales procuran mantener los niveles óptimos de acidez durante la fermentación usualmente mediante el empleo de disoluciones tampón. Los ácidos de algunas frutas (ácido tartárico, málico) limitan a veces este proceso.

1.13.3. CONCENTRACIÓN DE AZÚCARES

La concentración excesiva de hidratos de carbono en forma de monosacáridos y disacáridos puede frenar la actividad bacteriana. De la misma forma la baja concentración puede frenar el proceso. Las concentraciones límite dependen del tipo de azúcar, así como de la levadura responsable de la fermentación. Las concentraciones de azúcares afectan a los procesos de osmosis dentro de la membrana celular.

1.13.4. CONTACTO CON EL AIRE

Una intervención de oxígeno (por mínima que sea) en el proceso lo detiene por completo (es el denominado **Efecto Pasteur**). Esta es la razón por la que los recipientes fermentadores se cierran herméticamente.

1.13.5. LA TEMPERATURA

El proceso de fermentación es exotérmico, y las levaduras tienen un régimen de funcionamiento en unos rangos de temperatura óptimos, se debe entender además que las levaduras son seres mesófilos. Si se expone cualquier levadura a una temperatura cercana o superior a 55 °C por un tiempo de 5 minutos se produce su muerte. La mayoría cumple su misión a temperaturas de 30 °C.

1.13.6. RITMO DE CRECIMIENTO DE LAS CEPAS

Durante la fermentación las cepas crecen en número debido a las condiciones favorables que se presentan en el medio, esto hace que se incremente la concentración de levaduras.

1.14. FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

La fermentación alcohólica es un proceso anaeróbico que genera etanol, desprende grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) además de energía para el metabolismo de las bacterias anaeróbicas y levaduras.

La **fermentación alcohólica** es un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de aire (oxígeno - O₂), originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono (por regla general, azúcares: por ejemplo, la glucosa, la fructosa, la sacarosa, es decir, cualquier sustancia que tenga la forma empírica de la glucosa, es decir, una hexosa) para obtener como productos finales: un alcohol en forma de etanol (cuya fórmula química es: CH₃-CH₂-OH), dióxido de carbono (CO₂) en forma de gas y moléculas de adenosín trifosfato (ATP) que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico. El etanol resultante se emplea en la elaboración de algunas bebidas alcohólicas, tales como el vino, la cerveza, la sidra, el cava, etc.

La fermentación alcohólica tiene como finalidad biológica proporcionar energía anaeróbica a los microorganismos unicelulares (levaduras) en ausencia de oxígeno a partir de la glucosa. En el proceso, las levaduras obtienen energía disociando las moléculas de glucosa y generan como desechos alcohol y CO₂. Las levaduras y bacterias causantes de este fenómeno son microorganismos muy habituales en las frutas y cereales y contribuyen en gran medida al sabor de los productos fermentados. Una de las principales características de estos microorganismos es que viven en ambientes completamente carentes de oxígeno (O₂), máxime durante la reacción química, y es por ello que la fermentación alcohólica es un proceso anaerobio o anaeróbico. (https://es.wikipedia.org/wiki/Fermentaci%C3%B3n_alcoh%C3%B3lica)

1.15. PROCESOS DE OBTENCIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO

1.15.1. PROCESO DE FERMENTACIÓN DISCONTINUO

Mediante la utilización de una cepa de levaduras denominadas *Saccharomyces cerevisiae*, se procede a fermentar mostos azucarados, los cuales tienen como materia prima la melaza tipo “C” (o miel agotada después de un tercer cocimiento para obtención de azúcar) mezclada con jugo mixto de caña de azúcar.

La relación de mezcla es la suficiente como para que las sumas de los azúcares reductores totales puedan ser transformados en alcoholes con una concentración cercana a 8 – 8,5 % (v/v) de alcohol en vino.

Los azúcares reductores totales contemplan tanto los azúcares simples conocidos como glucosa y fructosa (monosacáridos)

Como así también la sacarosa (disacárido), azúcar este último compuesto por los dos anteriores monosacáridos. (www.alconoa.com.ar)

La levadura tiene la particularidad de ser un microorganismo facultativo, es decir, que puede vivir con o sin aire, teniendo desde ya funciones distintas según sea el proceso:

A) Con aire, proceso aeróbico: los azúcares presentes son utilizados por las levaduras para nutrición y reproducción. Esto implica que, en estas condiciones, los azúcares son transformados en biomasa.

B) Sin aire, proceso anaeróbico: los azúcares presentes son sometidos a un proceso de fermentación mediante un proceso de glicólisis, en dónde participan una serie de enzimas que han de llevar al monosacárido glucosa y/o fructosa a aldehído pirúvico y una oxidación final lo transforma en alcohol etílico, con un desprendimiento de calor, y de CO₂, los cuales deben ser retirados del medio para que la reacción continúe.

Se debe señalar que los azúcares que esta levadura ha de procesar son sólo los monosacáridos glucosa/fructosa y posee la enzima invertasa para “desdoblar” o hidrolizar a la sacarosa convirtiéndola en sus azúcares simples que la constituyen: glucosa y fructosa.

Para iniciar el proceso de fermentación, se parte de una cantidad de levadura prensada, la cual se hace reproducir en unos tanques denominados “pre fermentadores”, tanques en que se han de agregar además de los azúcares antes mencionados, aire y nutrientes que proveerán los elementos básicos tanto para la nutrición como para la reproducción: fósforo (como ácido fosfórico) y una fuente de nitrógeno (sulfato de amonio, urea). El resto de los elementos que la levadura necesita para esta etapa la encuentra en la solución azucarada formada a partir de la melaza, la cual conlleva una serie de elementos tales como sodio, potasio, magnesio, aminoácidos, etc., que son muy útiles para aquella.

El proceso de reproducción lleva su tiempo, según cuánta levadura inicial se utilice, ya que podemos partir de una levadura, reproducirla en Laboratorio hasta alcanzar un volumen suficiente como para continuar en los pre fermentadores, o bien partir de una cantidad de levaduras como para obviar el tiempo que lleva lo anterior, o por último utilizar la cantidad de levaduras que cada cuba de fermentación necesita para el proceso de fermentación. Una vez que la levadura alcanza un volumen determinado en el pre fermentador, se pasa a la cuba de fermentación, en dónde

ahora sí, comenzará el proceso de fermentación, aunque la reproducción no se detendrá debido a que siempre habrá algo de aire disuelto en los mostos, como causa de agitaciones, o por el mismo.

(file:///F:/ALGARROBA/Elaboracion%20Alcohol%20Etilico.pdf)

1.15.2. DESTILACIÓN

La destilación, es un proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación. El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles. En la evaporación y en el secado, normalmente el objetivo es obtener el componente menos volátil; el componente más volátil, casi siempre agua, se desecha.

La destilación depende de parámetros como: El equilibrio líquido vapor, temperatura, presión, composición, energía. El equilibrio entre el vapor y el líquido de un compuesto está representado por la relación de moles de vapor y líquido a una temperatura determinada, también puede estudiarse este equilibrio a partir de sus presiones de vapor.

La temperatura influye en las presiones de vapor y en consecuencia de la cantidad de energía proporcionada al sistema, también influye en la composición del vapor y el líquido ya que esta depende de las presiones del vapor. La presión tiene directa influencia en los puntos de ebullición de los líquidos orgánicos y por tanto en la destilación. La composición es una consecuencia de la variación de las presiones de vapor, de la temperatura que fijan las composiciones en el equilibrio. Puntos de ebullición, son aquellos puntos o temperaturas de compuestos puros a las que sus presiones de vapor igualan a la presión atmosférica, produciéndose el fenómeno llamado ebullición.

(file:///F:/ALGARROBA/Elaboracion%20Alcohol%20Etilico.pdf)

1.15.3. DESTILACIÓN SIMPLE

Es el método que se usa para la separación de líquidos con punto de ebullición inferior a 150°C a presión atmosférica de impurezas no volátiles o de otros líquidos miscibles que presenten un punto de ebullición al menos 25°C superior al primero de ellos. Es importante que la ebullición de la mezcla sea homogénea y no se produzcan proyecciones. Para evitar estas proyecciones suele introducirse en el interior del aparato de destilación nódulos de materia que no reaccione con los componentes.

(file:///F:/ALGARROBA/Elaboracion%20Alcohol%20Etilico.pdf)

1.15.4. DESTILACIÓN FRACCIONADA

Este proceso, conocido como rectificación o destilación fraccionada, se utiliza mucho en la industria, no sólo para mezclas simples de dos componentes (como alcohol y agua en los productos de fermentación, u oxígeno y nitrógeno en el aire líquido), sino también para mezclas más complejas como las que se encuentran en el alquitrán de hulla y en el petróleo. La columna fraccionadora que se usa con más frecuencia es la llamada torre de burbujeo, en la que las placas están dispuestas horizontalmente, separadas unos centímetros, y los vapores ascendentes suben por unas cápsulas de burbujeo a cada placa, donde burbujan a través del líquido. Las placas están escalonadas de forma que el líquido fluye de izquierda a derecha en una placa, luego cae a la placa de abajo y allí fluye de derecha a izquierda. La interacción entre el líquido y el vapor puede ser incompleta debido a que puede producirse espuma y arrastre de forma que parte del líquido sea transportado por el vapor a la placa superior. En este caso, pueden ser necesarias cinco placas para hacer el trabajo de cuatro placas teóricas, que realizan cuatro destilaciones. Un equivalente barato de la torre de burbujeo es la llamada columna apilada, en la que el líquido fluye hacia abajo sobre una pila de anillos de barro o trocitos de tuberías de vidrio.

La única desventaja de la destilación fraccionada es que una gran fracción (más o menos la mitad) del destilado condensado debe volver a la parte superior de la torre y eventualmente debe hervirse otra vez, con lo cual hay que suministrar más calor. Por otra parte, el funcionamiento continuo permite grandes ahorros de calor,

porque el destilado que sale puede ser utilizado para precalentar el material que entra.
(<http://www.todobodega.com/>)

1.16. EXPORTACIONES DE ALCOHOL ETÍLICO QUE REALIZA BOLIVIA

Las estadísticas oficiales muestran que Bolivia exporta alcohol etílico para diferentes aplicaciones industriales. Son pocas las iniciativas Bolivianas que se incluyen en la tendencia del comercio.

Bolivia: exportaciones de alcohol etílico sin desnaturalizar según país de destino gestión 2014 (en kilos brutos y dólares estado Estadounidense)

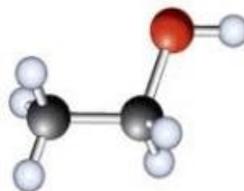
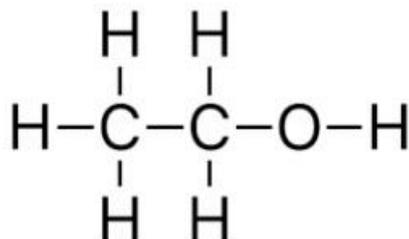
TABLA I- 7.EXPORTACIONES DE ALCOHOL ETILICO QUE REALIZA BOLIVIA GESTION 2014

País	Volumen (kg brutos)	Valor \$	%s/Valor
Francia	34,666.96	20,605.00	32,22
Colombia	21,374.34	13,026.87	20,37
Italia	19,918.66	11,223.94	17,55
Chile	13,763.43	8,955.99	14,00
Perú	6,649.52	3,507.13	5,48
Restos de países	12,497.93	6,634.182	10,37
Total exportado	108,870.93	63,953.113	100,00

Fuente: Comercio Exterior, 2014.

1.17. PROPIEDADES DEL ETANOL

1.17.1. FORMULA Y PESO MOLECULAR



Fuente: Elaboración propia, 2018.

46.07 g/mol.

1.17.2. COMPOSICION

C: 52.24 %

H: 13.13 %

O: 34.73 %.

1.17.3. GENERALIDADES

El etanol es un líquido incoloro, volátil, con un olor característico y sabor picante. También se conoce como alcohol etílico. Sus vapores son más pesados que el aire. Se obtiene, principalmente, al tratar etileno con ácido sulfúrico concentrado y posterior hidrólisis. Algunas alternativas de síntesis son: hidratación directa de etileno en presencia de ácido fosfórico a temperaturas y presiones altas y por el método Fischer-Tropsch, el cual consiste en la hidrogenación catalítica de monóxido de carbono, también a temperaturas y presiones altas. De manera natural, se obtiene a través de fermentación, por medio de levaduras a partir de frutas, caña de azúcar, maíz, cebada, sorgo, papas y arroz entre otros, generando las variadas bebidas alcohólicas que existen en el mundo. Después de la fermentación puede llevarse a

cabo una destilación para obtener un producto con una mayor cantidad de alcohol. El etanol se utiliza industrialmente para la obtención de acetaldehído, vinagre, butadieno, cloruro de etilo y nitrocelulosa, entre otros. Es muy utilizado como disolvente en síntesis de fármacos, plásticos, lacas, perfumes, cosméticos, etc. También se utiliza en mezclas anticongelantes, como combustible, como antiséptico en cirugía, como materia prima en síntesis y en la preservación de especímenes fisiológicos y patológicos. El llamado alcohol desnaturalizado consiste en etanol al que se le agregan sustancias como metanol, isopropanol o, incluso, piridinas y benceno. Estos compuestos desnaturalizantes son altamente tóxicos por lo que, este tipo de etanol, no debe de ingerirse.

1.17.4 PROPIEDADES QUÍMICAS

Se ha informado de reacciones vigorosas de este producto con una gran variedad de reactivos como: difluoruro de disulfurilo, nitrato de plata, pentafluoruro de bromo, perclorato de potasio, perclorato de nitrosilo, cloruro de cromilo, percloruro de clorilo, perclorato de uranilo, trióxido de cromo, nitrato de fluor, difluoruro de dióxígeno, hexafluoruro de uranio, heptafluoruro de yodo, tetraclorosilano, ácido permangánico, ácido nítrico, peróxido de hidrógeno, ácido peroxodisulfúrico, dióxido de potasio, peróxido de sodio, permanganato de potasio, óxido de rutenio , platino, potasio, t-butóxido de potasio, óxido de plata y sodio. En general, es incompatible con ácidos, cloruros de ácido, agentes oxidantes y reductores y metales alcalinos.

1.17.5. RIESGOS

Riesgos de fuego y explosión: Por ser un producto inflamable, los vapores pueden llegar a un punto de ignición, prenderse y transportar el fuego hacia el material que los originó. Los vapores pueden explotar si se prenden en un área cerrada y pueden generar mezclas explosivas e inflamables con el aire a temperatura ambiente. Los productos de descomposición son monóxido y dióxido de carbono. Riesgos a la salud: El etanol es oxidado rápidamente en el cuerpo a acetaldehído, después a acetato y finalmente a dióxido de carbono y agua, el que no se oxida se excreta por la

orina y sudor. Inhalación: Los efectos no son serios siempre que se use de manera razonable. Una inhalación prolongada de concentraciones altas (mayores de 5000 ppm) produce irritación de ojos y tracto respiratorio superior, náuseas, vómito, dolor de cabeza, excitación o depresión, adormecimiento y otros efectos narcóticos, coma o incluso, la muerte. Un resumen de los efectos de este compuesto en humanos se da a continuación: mg/l en el aire Efecto en humanos 10-20 minutos y lagrimeo que desaparecen después de 5 o 10 minutos. 30 Lagrimeo y tos constantes, puede ser tolerado, pero molesto. 40 Tolerable solo en periodos cortos. Mayor de 40 Intolerable y sofocante aún en periodos cortos. Contacto con ojos: Se presenta irritación solo en concentraciones mayores a 5000 a 10000 ppm. Contacto con la piel: El líquido puede afectar la piel, produciendo dermatitis caracterizada por resequedad y agrietamiento.

1.17.6 INGESTIÓN

Dosis grandes provocan envenenamiento alcohólico, mientras que su ingestión constante, alcoholismo. También se sospecha que la ingestión de etanol aumenta la toxicidad de otros productos químicos presentes en las industrias y laboratorios, por inhibición de su excreción o de su metabolismo, por ejemplo: 1,1,1-tricloroetano, xileno, tricloroetileno, dimetilformamida, benceno y plomo. La ingestión constante de grandes cantidades de etanol provoca daños en el cerebro, hígado y riñones, que conducen a la muerte. La ingestión de alcohol desnaturalizado aumenta los efectos tóxicos, debido a la presencia de metanol, piridinas y benceno, utilizados como agentes desnaturalizantes, produciendo ceguera o, incluso, la muerte a corto plazo. Carcinogenicidad: No hay evidencia de que el etanol tenga este efecto por el mismo, sin embargo, algunos estudios han mostrado una gran incidencia de cáncer en laringe después de exposiciones a alcohol sintético, con sulfato de dietilo como agente.

(<http://www.regenciaquimica.ucr.ac.cr/sites/default/files/Etanol.pdf>)

CAPÍTULO II
PARTE EXPERIMENTA

CAPÍTULO II

2.1. PARTE EXPERIMENTAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La parte experimental del presente proyecto de investigación aplicada fue desarrollada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), dependiente del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (DPIBA) de la facultad de ciencias y tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

Las algarrobas maduras procedentes de Villa Montes ubicada en la ciudad del sur de Bolivia en el departamento de Tarija, dentro de la primera región autónoma, Gran Chaco, que en la actualidad tienen como uso la alimentación a los animales del lugar e iniciativas a escala artesanal como la producción de chicha. Cada árbol genera una cantidad considerable eso dependerá de la edad de los arboles ya que mientras el árbol tiene más edad más frutos tendrá, el fruto de algarrobo tiene grandes potenciales para la industria por las diferentes propiedades que presenta.

La algarroba tiene como principal característica una cantidad considerable de azúcares con gran potencial para realizar producciones de alcohol a partir de un proceso fermentativo controlando adecuadamente el tiempo, temperatura y pH

2.2. DESCRIPCIÓN DEL METODO DE INVESTIGACIÓN

Mediante la utilización de una cepa de levaduras denominadas *Sacharomices cerevisae*. Se procede a fermentar mostos azucarados, lo cuales tienen como materia prima sacarosa. La relación de la mezcla es la suficiente como para que la suma de los azúcares reductores totales puedan ser transformados en alcoholes.

El proceso de fermentación es anaeróbico, los azúcares presentes son sometidos a un proceso de fermentación mediante glicolisis, en donde participan enzimas que han de llevar al monosacárido glucosa y/o fructuosa a aldehído pirúvico y una oxidación final lo transformara en alcohol etílico, con un desprendimiento de calor, y dióxido de

carbono (CO_2), los cuales deben ser retirados del medio para que la reacción continúe.

2.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL EN LA ETAPA DE LA DESTILACIÓN

Para la determinación de alcohol etílico a partir de las vainas de algarrobo, se procuró tener mayor rendimiento, por lo tanto, se siguió el mismo proceso de fermentación para ambas pruebas diferenciándose en la parte de la destilación, ya que se trabajó con diferentes equipos que corresponden a la destilación simple:

La primera parte de la etapa experimental se basa en la selección del equipo a utilizar en la parte de la destilación:

2.3.1. ROTAVAPOR

El rota vapor se encarga de evaporar las sustancias, por medio del principio de destilación, para luego llevarlas a condensación y lograr separar unos componentes de otros.

2.3.2. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

En cuanto al funcionamiento, es fundamental que el operador del rota vapor conozca de antemano los puntos de destilación y/o fusión de los analitos para no sobrecalentar el sistema. El analito de interés es colocado en el matraz de evaporación que está semi-sumergido en agua, se enciende la plancha calefactora del Baño María y el sistema de rotación del matraz de evaporación. Se reduce la presión atmosférica mediante la aplicación de una bomba de vacío permitiendo que los solventes sean separados del soluto y destilados en el tubo de condensación a baja temperatura y recolectados en el matraz colector.

El equipo consta de tres unidades: unidad de movimiento (de rotación y elevación), el equipo de destilación (vidrio), y unidad de calefacción (baño maría).

El movimiento de rotación es generado por un motor de inducción.

La velocidad es controlada o regulada por medio de un circuito que tiene las funciones necesarias para tal fin.

Este equipo cuenta con un sistema de calentamiento en el baño maría a través de una resistencia calefactora eléctrica, que proporciona calor al agua del depósito del baño, el sistema de calentamiento está controlado por un termostato electrónico, y se detecta por medio del termopar, que se encuentra en el interior del depósito.

<http://rotavaporuso.blogspot.com/p/partedel-rotavapor.html>

2.3.3. COLUMNA DE DESTILACIÓN

El fundamento teórico del proceso consiste en el calentamiento de la mezcla, que da lugar a un vapor más rico que la mezcla en el componente más volátil (destilación simple). El vapor pasa a la parte superior de la columna donde condensa. Como la temperatura sigue aumentando, a su vez este condensado se calienta dando lugar a un vapor aún más rico en el componente más volátil (más ligero, de menor punto de ebullición), que vuelve a ascender en la columna (nueva destilación simple). De la misma forma el líquido condensado de cada paso va refluendo hacia la parte baja de la columna, haciéndose cada vez más rico en el componente menos volátil.

Esto tiene como consecuencia una serie completa de evaporaciones y condensaciones parciales en toda la longitud de la columna de fraccionamiento. Estos ciclos de evaporación-condensación equivalen a múltiples destilaciones simples, por lo que la destilación fraccionada es mucho más eficiente que la simple, y permite separar incluso líquidos de puntos de ebullición parecidos.

La columna de destilación se encarga de los procesos industriales más importantes para separar diferentes componentes de una combinación líquida.

La columna de destilación de laboratorio es necesaria para proveer un adecuado entrenamiento práctico para los estudiantes de ingeniería y operadores de planta en un ambiente seguro. Ellas también pueden ser usadas para adquirir datos del proceso de separación, de uso en el diseño de una planta.

Tradicionalmente, la gran escala “planta piloto” ha sido usada para este propósito y eso ha presentado problemas, particularmente aquellos con gran cantidad de productos químicos requeridos y periodos largos de tiempo, para alcanzar equilibrio. También, restricciones en los productos químicos usados debido a su naturaleza inflamable han limitado el uso del equipo.

La Columna de destilación ha sido específicamente desarrollada para superar estas desventajas principales y presentar el equipo de entrenamiento el cual es seguro y económico en su uso.

Una variedad de experimentos de destilación puede ser llevada a cabo usando las columnas de relleno o de platos y el proceso puede ser operado a presión atmosférica o bajo vacío.

2.3.4. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

En cuanto al funcionamiento, es fundamental que el operador de la columna de destilación conozca de antemano los puntos de destilación y/o fusión de los analitos para no sobrecalentar el sistema, es importante conocer que en el reboiler puede ser llenado con una carga inicial de 10 litros de la mezcla binaria, posteriormente el manejo de la consola de control en la que se realiza los diferentes controles que ocurre en el sistema, como la temperatura en la diferentes zonas y platos, así también las revoluciones a la que es necesario trabajar, para regular la temperatura y la el tiempo de destilación.

2.4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA

El fruto es una vaina de color castaño oscuro, de entre 10 a 23 cm de longitud, de la especie *Prosopis Sp*, de color verde cuando no han alcanzado su madurez.

Cuando las vainas han alcanzado el estado de madurez, presenta un sabor dulce muy agradable, presenta semillas de un parecido aproximado a las lentejas.

La materia prima se recolecta Villa Montes ubicada en la ciudad del sur de Bolivia en el departamento de Tarija, dentro de la primera región autónoma, Gran Chaco, de los árboles de una altura aproximada de 3.30 metros con un forraje abundante y con

varias espigas, es muy importante saber que los frutos se encontraban maduros y secos, como se puede observar en la figura 2-1

FIGURA 2- 1. FRUTOS DEL ALGARROBO



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Los análisis fisicoquímicos de la materia prima, las algarrobas, se realizaron en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID)

Los parámetros que se realizaron se observaron en la tabla II-1

TABLA II- 1. ANALISIS FISICOQUIMICOS DE LAS VAINAS DE ALGARROBO

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR EXPERIMENTAL	VALOR DE REFERENCIA
Humedad	%	7.71	18.48
Azúcares totales	%	35.65	46.65
Azúcares reductores	%	10.32	10.32
Proteína total	%	5.69	13.56
Cenizas (N×6,25)	%	2.76	3.60

Fuente: Elaboración propia,2018. en base a datos del CEANID

Ver en anexo D

2.5. DISEÑO FACTORIAL

El diseño factorial, como estructura de investigación, es la combinación de dos o más diseños simples (o unifactoriales); es decir, el diseño factorial requiere la multiplicación simultánea de dos o más variables independientes (llamados factores), en un mismo experimento.

Un diseño factorial con dos factores consiste en experimentar con todos los tratamientos que se obtienen al combinar cada nivel de un factor con los niveles del otro. (FERRE, J.2003)

2.5.1. PARAMETROS PARA LA OBTENCION DE ALCOHOL ETILICO A PARTIR DE LOS FRUTOS DE ALGARROBO

En el proceso de obtención del alcohol etílico, los factores que predominaron fueron:

- Concentración de azúcar inicial (Grados Brix inicial)
- Tiempo de fermentación

El diseño factorial es de 2 niveles y dos variables para permitir estudiar los efectos de los factores que pueden tener una respuesta en el proceso.

TABLA II- 2. PARAMETROS PARA LA OBTENCION DE ALCOHOL ETILICO A PARTIR DE LOS FRUTOS DE ALGARROBO

Parámetros	Nivel alto (máximo)	Nivel bajo (mínimo)
Tiempo de fermentación Días	7	6
Concentración de azúcar °Brix	9	7

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Con estas variables como punto de partida se realiza el posible diseño factorial:

$$2^k$$

Donde, 2 son los niveles y k las variables.

Numero de variables = 2

Niveles = 2

Numero de experimentos:

$$\text{Numero de experimentos: } 2^2 = 4$$

Se realizarán 2 réplicas del experimento

$$\text{Numero de experimentos: } 2^2 = 4 * 2 = 8 \text{ experimentos}$$

Bajo (-) = es el valor pequeño con el que se trabaja

Bajo (+) = es el valor alto con el que se trabaja

TABLA II- 3. NIVELES DE LA VARIABLES PARA LA FERMENTACIÓN

Superior	9	7
Inferior	7	6

Fuente: Elaboración propia ,2018

En la tabla II-3, se muestran las combinaciones de las variables en sus 2 niveles a realizar para cada muestra.

TABLA II- 4. COMBINACION DE LAS VARIABLES DE FERMENTACION

N° pruebas	Cij	Tij	Repuesta °Brix final
1	-1	-1	C11 T11
2	+1	-1	C21 T11
3	-1	+1	C11 T21
4	+1	+1	C21 T21
5	-1	-1	C12T12
6	+1	-1	C22T12
7	-1	+1	C12T22
8	+1	+1	C22T22

Fuente: Elaboración propia ,2018

Donde:

i = nivel

j= repetición

C= concentración

T=tiempo de fermentación

°BF= Brix final (°BF), variable respuesta

2.5.2. PARÁMETROS PARA LA OBTENCIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO A PARTIR DEL FRUTO DE ALGARROBO EN LA DESTILACIÓN EN EL ROTAVAPOR

En el proceso de destilación para la obtención de alcohol etílico, los factores que predominan son:

- Tiempo de destilación
- Temperatura de destilación

El diseño factorial considera 2 niveles y dos variables para poder determinar poder obtener los resultados de las variables que implicaran en el proceso de obtención de alcohol etílico.

TABLA II- 5. PARÁMETROS PARA LA OBTENCIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO A PARTIR DEL FRUTO DE ALGARROBO

Tiempo de destilación	2:00	1:30
Temperatura de destilación	78	75

Fuente: elaboración propia ,2018.

Con estas variables como punto de partida se realiza el posible diseño factorial:

$$2^k$$

Donde, 2 son los niveles y k las variables.

Numero de variables = 2

Niveles = 2

Numero de experimentos:

$$\text{Numero de experimentos: } 2^2 = 4$$

Se realizarán 2 réplicas del experimento

Numero de experimentos: $2^2 = 4 * 2 = 8$ *experimentos*

Bajo (-) = es el valor pequeño con el que se trabaja

Bajo (+) = es el valor alto con el que se trabaja

TABLA II- 6. NIVELES DE LAS VARIABLES PARA LA FERMENTACION

Superior	2:00	78
Inferior	1:30	75

Fuente: elaboración propia,2018.

En la tabla II-6 se muestran las combinaciones de las variables de 2 niveles a realizar para cada una de las muestras.

TABLA II- 7. COMBINACIÓN DE LAS VARIABLES DE DESTILACIÓN EN EL ROTAVAPOR

N° pruebas	Cij	Tij	Repuesta °Brix final
1	-1	-1	Tiem11T11
2	+1	-1	Tiem21T11
3	-1	+1	Tiem11T21
4	+1	+1	Tiem21T21
5	-1	-1	Tiem12T12
6	+1	-1	Tiem22T12
7	-1	+1	Tiem12T22
8	+1	+1	Tiem22T22

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Donde:

i = nivel

j = repetición

T = temperatura de destilación

Tiem = tiempo de destilación

°GL = grados Gay Lussac (variable respuesta)

2.5.3. PARÁMETROS PARA LA OBTENCIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO A PARTIR DEL FRUTO DE ALGARROBO EN LA DESTILACIÓN EN LA COLUMNA DE DESTILACIÓN

Se requiere la manipulación simultánea de dos o más variables independientes (llamados factores) en un mismo experimento.

El diseño factorial para la destilación es de dos factores, a dos niveles cada uno

TABLA II-8. NIVELES DE LAS VARIABLES DE DESTILACION

Nivel	Potencia (kw)
Inferior	2.23
Superior	2.30

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la siguiente tabla se muestra las combinaciones de las variables en sus dos niveles a realizar, para cada una de las muestras

TABLA II-9. COMBINACION DE LAS VARIABLES DE LA DESTILACIÓN

N° Muestra	P _{ij}	Respuesta I (° GL)	Respuesta II (° GL)	Respuesta III (Vol)	Respuesta IV (Vol)
1	-	P ₁₁ R ₁₁	P ₁₂ R ₁₂	P ₁₁ 'R ₁₁ '	P ₁₂ 'R ₁₂ '
2	-	P ₂₁ R ₁₁	P ₂₂ R ₁₂	P ₂₁ 'R ₁₁ '	P ₂₂ 'R ₁₂ '
3	+	P ₁₁ R ₂₁	P ₁₂ R ₂₂	P ₁₁ 'R ₂₁ '	P ₁₂ 'R ₂₂ '
4	+	P ₂₁ R ₂₁	P ₂₂ R ₂₂	P ₂₁ 'R ₂₁ '	P ₂₂ 'R ₂₂ '

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Dónde:

i = Nivel

j = Repetición

P = Potencia (kw)

R = Relación de Reflujo

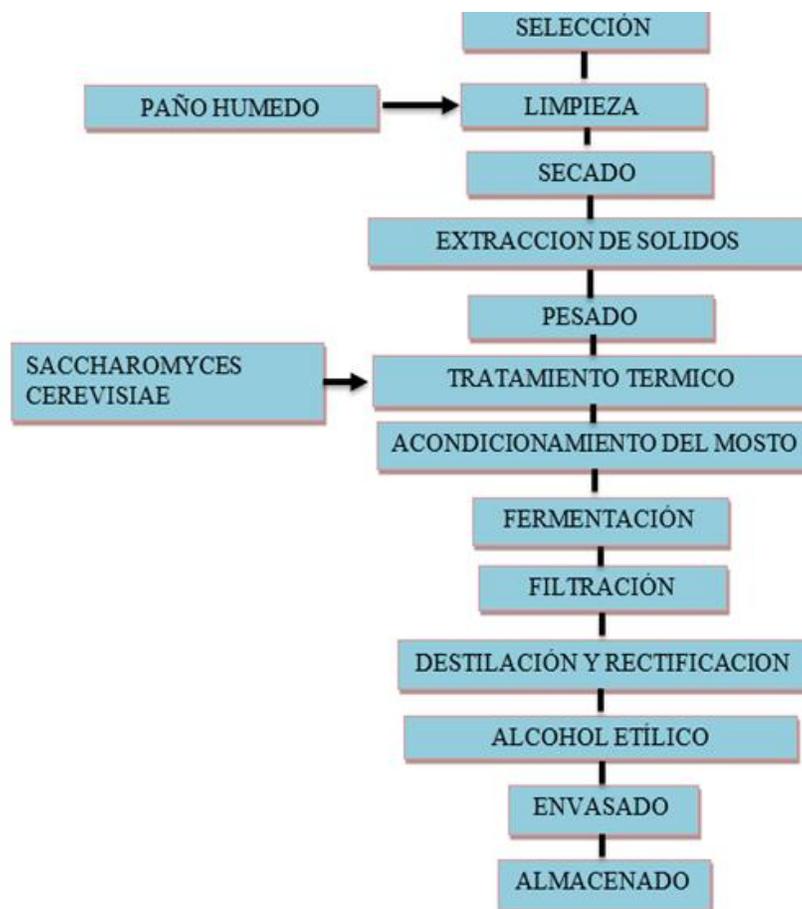
° GL = Concentración de Alcohol (° GL), primer variable respuesta

Vol = Volumen de destilado (ml), Segunda variable respuesta

2.6. OBTENCION DE ETANOL ETILICO A PARTIR DEL FRUTO DEL ALGARROBO

En la figura 2-2 muestra las etapas seguidas en el proceso para la obtención del alcohol etílico a partir de los frutos de algarrobo.

FIGURA 2- 2.DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA OBTENCION DE ALCOHOL ETILICO A PARTIR DE LOS FRUTOS DE ALGARROBO



Fuente: elaboración propia, 2018.

2.7. PROCESO DE OBTENCIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO A PARTIR DE LOS FRUTOS DEL ALGARROBO

2.7.1. OBTENCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Los frutos de algarrobo maduros se obtuvieron de Villa Montes ubicada en la ciudad del sur de Bolivia en el departamento de Tarija, dentro de la primera región autónoma, Gran Chaco, los cuales se encontraban en un estado adecuado de madurez además presentaban un secado natural el cual es muy conveniente para las siguientes etapas

La recolección de las algarrobas duro aproximadamente cuatro horas ya que las mismas se encontraban prendidas en los árboles, con ayuda de enormes palos se logró desprenderlas.

FIGURA 2-3. FRUTOS DE ALGARROBO



Fuente: elaboración propia, 2018.

2.7.2. SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La selección de la materia prima se realizó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias sobre un mesón de mosaico de medidas 245 cm de largo y 98 cm de ancho, se pudo observar que algunas algarrobas presentaban daños causados por las plagas ya que los algarrobos son espontáneos sus cultivos y esta sometidos a diversos factores adversos.

2.7.3. LIMPIEZA DE LA MATERIA PRIMA

La limpieza de la materia prima se realizó con un paño húmedo para quitar los diferentes contaminantes externos y no así con agua directamente ya que el fruto presentaba un secado natural que dificultaría la siguiente etapa todo este proceso.

Se realizó sobre un mesón de mosaico de las medidas de 98 cm de ancho y 245 cm de largo, los algarrobos limpios se pusieron en un recipiente.

FIGURA 2- 4. LIMPIEZA DE LAS VAINAS DE ALGARROBA



Fuente: Elaboración propia, 2018.

2.7.4. SECADO DE LA MATERIA PRIMA

El secado consiste en dejar en reposo las vainas de algarrobo, sobre algunos pliegues de papel en el mesón completamente seco a temperatura ambiente, un par de horas ya que después de la limpieza intensa se transmitió cierta humedad.

FIGURA 2- 5. SECADO DE LAS VAINAS DE ALGARROBO



Fuente: Elaboración propia, 2018.

2.7.5. EXTRACCION DE SOLIDOS SOLUBLES

La extracción de sólidos solubles consiste en realizar la molienda de las algarrobas en el molino de bolas que se encontraba en Laboratorio de Operaciones Unitarias,

con la finalidad de reducir el tamaño de partículas para su posterior tratamiento, como la algarroba presenta varias semillas que representan el 9% de su peso total y las mismas tienen un contenido significativo de aceite las cuales dificultarían el proceso de destilación, estas fueron separadas para poder extraer los azúcares reductores del mismo. En la tabla II-10 se podrá observar las diferentes características que presenta el equipo con el que se realizó la molienda de las vainas de algarrobo.

TABLA II- 10. CARACTERISTICAS DEL MOLINO DE BOLAS

Nombre y código de equipo	Característica	Foto
MOLINO DE BOLAS 050313/01	Marca: ORTO ALRSA Rango de Temperatura: 2-40 °C Tencion:220- 230 V Potencia :250W Frecuencia:50Hz velocidad:227 r.p.m	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

2.7.6. PESADO

El pesado consiste en controlar la cantidad del endocarpio que representa el 35% junto con el exocarpio y mesocarpio que representa el 56% que constituyen la parte del fruto que son necesarios para proceder a preparar el mosto.

El pesado se realizó en una balanza analítica que las características serán descritas en la figura II-11.

TABLA II- 11. CARACTERISTICAS DE LA BALANZA ANALITICA ELECTRONICA

Nombre y código de equipo	Característica	Foto
BALANZA ANALITICA ELECTRONIC A 194006	Marca: GIBERTINI Modelo: EU500 Rango de temperatura: 10-40°C Tención: 120V Frecuencia:50Hz Medidas exteriores Altura:120mm Ancho:210mm Profundidad:350mm Capacidad:510g	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

2.7.7. TRATAMIENTO TERMICO

El tratamiento térmico consiste en acondicionar las levaduras para su posterior activación con la finalidad de multiplicar los microorganismos que intervienen en el proceso : por cada gramo de levadura se agregó 10 ml de agua y nutrientes, ácido fosfórico H_3PO_4 en la proporción de 0.25 gramos por 50 ml de agua, se ajustó a una temperatura de 35 °C con el equipo termostato de inmersión que se describirá en la tabla II-10, también se ajusta el pH de 3.5-5.5, una vez controladas estas variables se deja reposar durante media hora.

TABLA II-12. CARACTERISTICA DE TERMOSTATO DE INMERSIÓN

Nombre y código de equipo	Característica	Foto
TERMOSTATO DE INMERSION	Marca:J. P SELECTA,s.a Rango de temperatura: 5-100°C Presión: 150 mbar Tención: 230 V	

3000389	Potencia total: 1000W Medidas exteriores Altura: 28 cm Ancho: 11 cm Profundidad: 16 Capacidad: 2.5 Lts	
---------	---	--

Fuente: Elaboración propia, 2018

2.7.8. ACONDICIONAMIENTO DE MOSTO

El acondicionamiento consiste en agregar una cantidad de 682.8 gramos de harina de algarrobo que después de la molienda fue almacenada en bolsas de propileno de densidad baja como se muestra en la figura 2-6.

Por cada 4000 ml de agua para poder tener una cantidad adecuada de grados Brix iniciales que en este caso alcanzamos los 7 °Brix al Preparar el mosto para su posterior fermentación.

FIGURA 2- 6. HARINA DE ALGARROBO



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.7.9. FERMENTACIÓN

El proceso de fermentación consiste en verter el mosto de algarroba al recipiente de fermentación, posteriormente agregamos la levadura previamente activada para luego ser inoculada.

Es necesario homogenizar por ello es necesario agitar la muestra, como es un proceso completamente anaeróbico se procede a cerrar el recipiente de fermentación bien para evitar el ingreso de aire al mismo, se dejara fermentar durante 6-7 días como indica el diseño factorial, se tomara las lectura cada tres horas para obtener aproximadamente lecturas que alcancen los 2 ° Brix .

El equipo que se utiliza para determinar los °Brix es el refractómetro digital es muy importante para saber si los azúcares de los frutos de algarrobo se están transformando el alcohol etílico ya que el mismo mide la concentración de azúcar que tiene la solución, a medida que se realiza la fermentación. Las características del equipo se muestran en la tabla II-13.

Nombre y código de equipo	Característica	Foto
REFRACTOMETRO DIGITAL 300155	Marca: COMECTA ,S.A Modelo: WYA-1S Rango e temperatura:0-50 °C Tención: 220 V Índice refractivo: 1300-1700 Brix: 0-95% Frecuencia:50 Hz Medidas exteriores Altura:38 Ancho:18 Profundidad:33 Capacidad:	

--	--	--

TABLA II- 13. CARACTERÍSTICA DE REFRACTOMETRO DIGITAL

Fuente: Elaboración propia ,2018

Durante este proceso los equipos utilizados fueron:

Fermentadores

Los fermentadores que se utilizaron fueron diseñados en dos bidones de material propileno (PP) de densidad alta , el cual tiene las siguientes medidas 23 de alto y 16 de ancho con un volumen de 5 litros cada uno, los mismos cuentan con una tapa pequeña de 4 cm diámetro con cierre hermético, en la cual se adaptó una pequeña válvula que permita la salida del dióxido de carbono que produce la reacción, también se adaptó un orificio para tomar muestras a medir la concentración de azúcar y pH. La misma puede ser observada en la figura 2-7

FIGURA 2- 7. FERMENTADOR



Fuente: Elaboración Propia ,2018

Determinación de grados Brix

Para la determinación de grados Brix se siguieron los pasos que se muestran a continuación:

- Limpiar el prisma superior e inferior con agua destilada con ayuda con ayuda de un pequeño paño.
- Con ayuda de un gotero agregar la muestra en el prisma inferior, cubrir en su totalidad el prisma.
- Observar el espectro de luz de tal manera que se puede observar la línea de división entre la parte opaca y clara.
- Programar en el equipo la lectura en °Brix y para finalizar pulsar en equipo la opción read.

El equipo que se utilizo fue un refractómetro digital descrito anteriormente en el proceso de la fermentación.

Determinación de la densidad del jugo de algarroba

La densidad se determinó a través de un método volumétrico cuyos pasos se muestran a continuación:

- Se toma en un picnómetro 25 mililitros, (recipiente calibrado, con el que se puede pesar un volumen de líquido con mucha precisión), pesarlo vacío
- Llenar el picnómetro con el jugo de algarrobo y pesarlo
- Restar el peso del picnómetro lleno con el vacío, para obtener la masa del jugo de algarrobo

- Para obtener la densidad aplicamos la fórmula de:

$$\rho = m/v$$

para comprobar la fiabilidad del picnómetro se procedio a seguir con los pasos mencionados en la parte superior con agua destilada, ya que es conocida su densidad de 0.998 kg/l a 1 atm y 20 ° C

Es muy importante determinar la densidad del jugo de algarrobo para posteriormente realizar los cálculos correspondientes en los balances de materia del proceso

2.7.10. DECANTACIÓN

La decantación es muy simple ya que se pudo observar que los sólidos procedentes de la fermentación se sedimentaban en su totalidad en la parte inferior del recipiente de fermentación, por lo tanto, directamente se trasladó el fermento a otro recipiente con ayuda de un embudo y colador como se muestra en la figura 2-8

FIGURA 2- 8. DECANTACIÓN



Fuente: Elaboración propia, 2018.

2.7.11. METODOLOGÍA 1, EXPERIMENTAL EN LA ETAPA DE LA DESTILACIÓN

2.7.11.1. DESTILACIÓN SIMPLE CON EL ROTAVAPOR

Se optó por utilizar el equipo de destilación simple por la cantidad obtenida de cultivo fermentativo de algarrobo.

Para poder separar el alcohol etílico del cultivo fermentativo se utilizó la destilación simple que duro aproximadamente de 1:30 – 2:00 a una temperatura de 75 a 78 °C, transcurrido el tiempo se mide la cantidad de destilado y la concentración de alcohol en °GL.

El equipo de destilación simple que se utilizó en la etapa de separación del cultivo fermentativo y alcohol etílico fué provisto por el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (U.A.J.M.S), las características del equipo son descritas en la tabla II-14.

Los accesorios del equipo son:

- 2 balones de 500 ml
- Un refrigerante
- Mangueras para la circulación de agua y acceso a la bomba
- Rota vapor
- Bomba de vacío

Tal como se muestra en la tabla II-12.

TABLA II- 14. CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE DESTILACIÓN

Nombre	Características	Foto
---------------	------------------------	-------------

ROTA VAPOR	Marca: Heidolph Potencia: 80W Velocidad: 30-270 rpm Tención: 230-240 V Frecuencia:50/60 Hz	
------------	--	---

Fuente: Elaboración propia, 2018.

2.7.11.2. METODOLOGIA 2, EXPERIMENTAL EN LA ETAPA DE LA DESTILACIÓN

2.7.11.3. DESTILACIÓN SIMPLE CON LA COLUMNA ARMFIELD

En la presente etapa experimental de destilación, se utilizó como equipo, la columna de destilación y se desarrolló en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.(UAJMS)

2.7.11.4. DESCRIPCION DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN MARCA ARMFIELD

- **COLUMNA DE DESTILACION**

La columna de plato es de 50 mm de diámetro, está constituida en dos secciones de vidrio y cada una contiene cuatro platos. Las columnas están separadas por una sección de alimentación central y ordenada verticalmente por el contra corriente liquido/vapor. La columna es aislada para minimizar la perdida de calor.

La columna de destilación cuenta con las siguientes partes que lo componen:

- **REBOILER**

El reboiler situado en la base de la columna esta manufacturado de acero inoxidable e incorpora un tipo de elemento calentador, incombustible de inmersión, la valvula permanece cerrada a fin de que el reboiler pueda ser llenado con una carga inicial de 10 litros como máximo, de mezcla binaria.

- **CONDENSADOR**

El vapor desde la parte superior de la columna pasa al enfriamiento por agua, al condensador de armazón en espiral, el cual de estar adaptado con una camisa aislada permitiendo que los balances de calor sean llevados hacia afuera.

El agua fría entra al condensador y la velocidad esta regulada a través de un rotámetro.

- **DECANTADOR**

El condensado es recolectado en un decantador de vidrio el cual es derivado por experimentos de destilación normal abriendo la valvula. Cuando el decantador esta en uso, la valvula esta cerrada de tal forma que el tubo de debordamiento y el tubo de la corriente de fondo dentro del contenedor, puedan tener efecto.

- **TERMOPARES**

Las temperaturas dentro del sistema son monitoreadas por trece termopares ubicadas en pocixiones estratégicas del sistema. Ocho termopares están ubicadas dentro de la columna y miden la temperatura del liquido en cada plato.

- **MANOMETRO**

El lanzamiento de la precion total a través de la columna es indicado en un manometro de tubo en U a través de puntos de conexión apropiadas en la columna conectadas con válvulas separada.

- **TANQUE DE RECEPCIÓN DEL PRODUCTO**

Todos los conectores en el sistema están conectados a un respiradero común en el recibidor de producto principal. Este respiradero esta conectado normalmente a través de un tubo de 4.0 metros de longitud a un armario de humo o salida de respiradero atmosférico de seguridad.

- **CONSOLA DE CONTROL**

La consola es adherida a la unidad de procesos por un cable umbilical el cual es de longitud adecuada para permitir que la consola sea ubicada a por los menos 2.0 metros de distancia.

FIGURA 2-9. -COLUMNA DE DESTILACIÓN ARMFIELD



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se siguió el siguiente proceso:

2.7.11.5. CARGA AL TANQUE DE ALIMENTACIÓN (REBOILER)

Se cargó 7 litros de cultivo fermentativo de algarrobo, al tanque de alimentación.

La energía suministrada para arrancar el funcionamiento de la columna de destilación, fue la potencia de 2.23 Kilowatt, (KW), lo que se requería en la muestra conforme el diseño experimental realizado, se tobo la primera gota de condensado a la hora y 20 minutos, tomando muestras cada 30. El proceso duro cinco horas continuas.

Una vez establecida la potencia en la consola de control, como se puede observar en la figura 2-10, se dejó que la columna trabaje hasta que la mezcla alcance su punto de ebullición que duró una hora.

FIGURA 2.10. CONSOLA DE CONTROL



Fuente: Elaboracion propia, 2018.

2.7.12. ENVASADO

Una vez obtenido el producto es necesario envasarlo y almacenarlo en un adecuado lugar para evitar pérdidas del mismo por los factores externos

2.7.13. ETIQUETADO

Para finalizar es muy importante el etiquetado del cual describirá las diferentes características que presenta

2.8. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS REALIZADOS EN LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS

Los análisis fisicoquímicos se realizaron en ambientes del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), fueron los siguientes:

Alcohol etílico probable

El alcohol se determina por medio de un alcoholímetro, se puede realizar con mediciones de hasta 90 ml. El procedimiento se muestra a continuación:

- Primero se acondiciona la muestra a 25°C.
- Llenar una probeta hasta un mínimo de 90 ml.

- Introducir el alcoholímetro completamente de manera circular y cuidadosa.
- Dejar que se estabilice y leer el dato.

Alcohol etílico de los frutos de algarrobo

Los parámetros que se analizaron en el laboratorio de Centro de Análisis Investigación y Desarrollo CEANID se muestran en la tabla II-15.

TABLA II- 15. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DEL ALCOHOL ETÍLICO

Parámetro	Unidad	Valor experimental en el rota vapor
Azúcar reductores	%	1.5
Grado alcohólico	°GL	13.53
Acidez total	Mg/l	180
pH		3.64
anhídrido sulfuroso libre	Mg/l	3.2

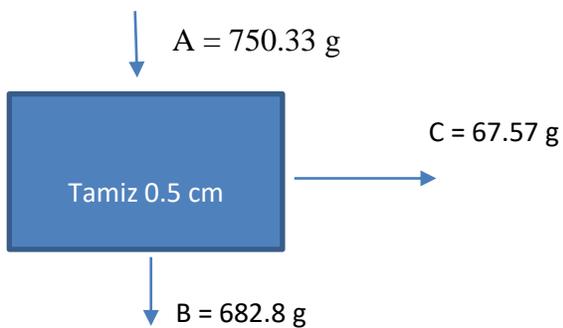
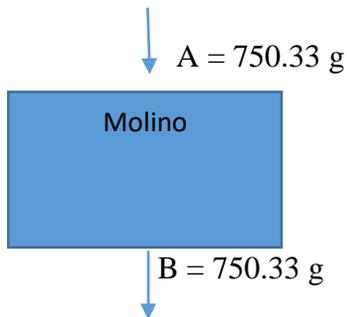
Fuente: Elaboración propia, en base a datos del CEANID, 2018.

Ver anexo E

2.9. BALANCE DE MATERIA

Es muy importante el balance de materia en las distintas etapas del proceso, por lo tanto, se presenta el mismo.

2.9.1. BALANCE DE MATERIA EN EL MOLINO DE LA MATERIA PRIMA



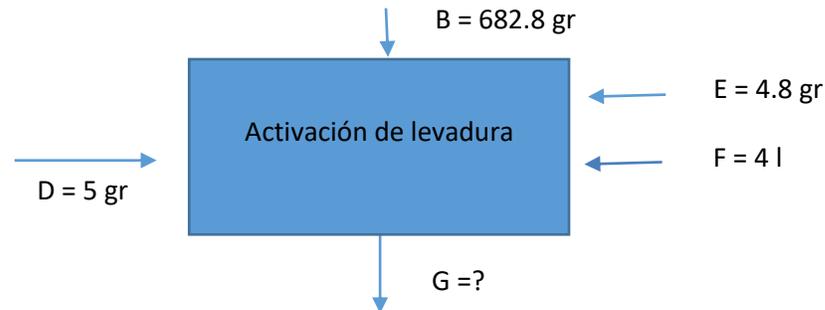
A = Vainas de algarrobo en gramos

B = Harina de algarrobo en gramo

C= semillas de algarrobo en gramos

$$A = B + C \quad (\text{Ec. 2.9.1.1})$$

2.9.2 BALANCE DE MATERIA EN ACTIVACION DE LA LEVADURA



B = 682.8 gramos de harina de algarrobo

E = 4.8 gramos de levaduras *Saccharomyces cerevisiae*

F = 4 litros de agua

D = 5 gramos de ácido orto fosfórico 0.1 N

G = ? kilogramos de mosto de algarroba

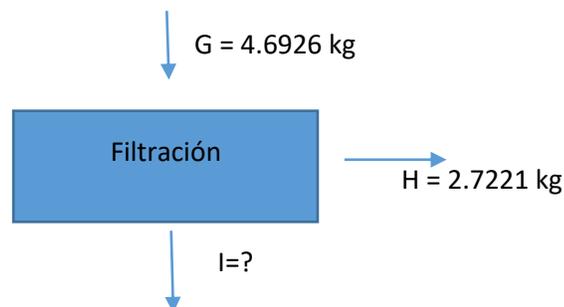
Balance Global

$$G = D + B + E + F \quad (\text{Ec. 2.9.2.1.})$$

$$G = 5 \text{ gr} + 682.8 \text{ gr} + 4.8 \text{ gr} + 4000 \text{ gr}$$

$$G = 4692.6 \text{ gr} = 4.6926 \text{ kg}$$

2.9.3. BALANCE DE MATERIA EN LA FILTRACION



$G = 4.6926$ kilogramos del mosto de algarrobo

$H = 2.7221$ kilogramos de residuo

$I = ?$ kilogramos de jugo de algarroba

Balance global

$$I = G - H \quad (\text{Ec. 2.9.3.1})$$

$$I = 4.692 \text{ kg} - 2.7221 \text{ kg}$$

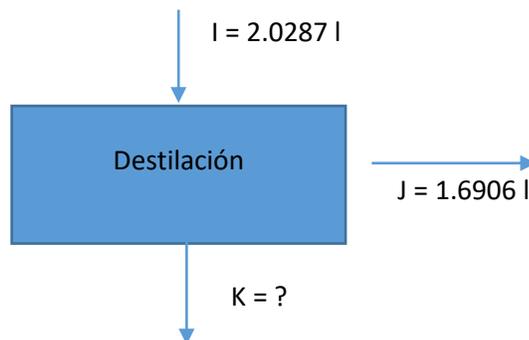
$$I = 1.9699 \text{ kg}$$

Densidad del Jugo de algarroba = 0.971 kg/l (kilogramo por litro) determinado por la ecuación de la densidad

$$I = 1.9699 \text{ kg} / 0.971 \text{ kg} / \text{l}$$

$$I = 2.02873 \text{ l}$$

2.9.4. BALANCE DE MATERIA EN LA DESTILACION EN EL ROTA VAPOR



$I = 2.0287$ litros de mosto

$J = 1.6906$ litros de residuo

$K = ?$ litros alcohol etílico

Balance global

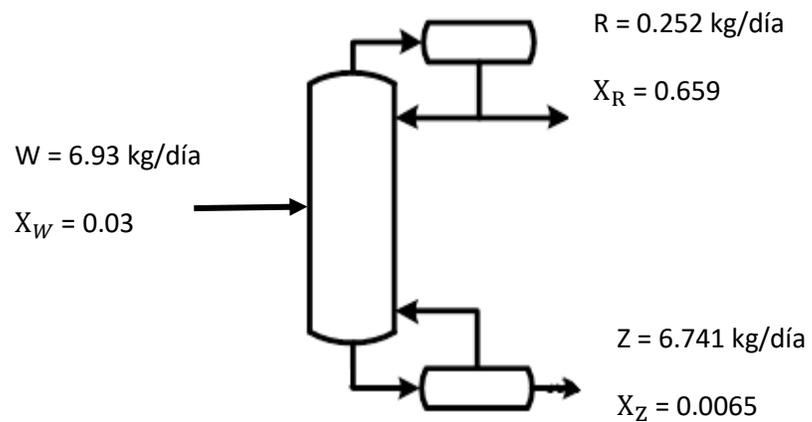
$$K = I - J \quad (\text{Ec. 2.9.4.1})$$

$$K = 2.0287 \text{ litros} - 1.6906 \text{ litros}$$

$$K = 0.3381 \text{ litros de alcohol etílico}$$

2.10. BALANCE DE MATERIA EN LA COLUMNA DE DESTILACIÓN

FIGURA 2-11.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Balance Global

$$W = R + Z \quad (\text{Ec. 2-10.1.1})$$

Balnce por componente

$$W * X_W = R * X_R + Z * X_Z \quad (\text{Ec. 2.10.2.1})$$

Dónde:

Termino	Definición	Datos
W	Caudal de alimentación	6.993 kg/día
R	Destilado final	0.252 kg/día
Z	Producto de fondo	6.741 kg/día
X_W	Fracción molar de alcohol etílico en la alimentación	0.03
X_R	Fracción molar de alcohol etílico en el destilado	0.659
X_Z	Fracción molar de alcohol etílico en el producto de fondo	0.065

2.10.1. DATOS DE LA COMPOCICION DEL ALCOHOL ETÍLICO EN LA MUESTRA Y EN EL DESTILADO FINAL

Datos iniciales de composición de agua y alcohol etílico en la muestra

$$m_{\text{jugo de algarrobo}} = 2028 \text{ ml jugo de algarrobo} * \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}} * 0.971 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$$

$$m_{\text{jugo de algarrobo}} = 1.969 \text{ kg jugo de algarrobo}$$

$$3 \frac{\text{g}}{100 \text{ ml}} * 2028 \text{ ml} = 60.84 \text{ gr}$$

Donde:

$$3 \frac{g}{100 ml} = 3^\circ GL \text{ inicial}$$

$$X \text{ alcohol etílico} = \frac{0.061 kg * 100\%}{1.969 kg}$$

X alcohol etílico = 3.04 % alcohol etílico

X agua = 96.96 % agua

2.10.2. DATOS DE LA COMPOSICIÓN DE AGUA Y ALCOHOL ETÍLICO EN EL DESTILADO FINAL

Determinación de la densidad del alcohol etílico

La densidad se determinó a través de un método volumétrico cuyos pasos se muestran a continuación:

- Se toma en un picnómetro de determinado volumen de jugo de algarrobo
- El volumen tomado después se debe pesar
- Para obtener la densidad aplicamos la fórmula de.

$$\rho = m/v$$

donde:

Termino	Definición	Datos
$\rho_{\text{alcohol etílico}}$	Densidad de alcohol etílico	0.88 kg/l (kilogramos por litro)
$m_{\text{alcohol etílico}}$	Masa de alcohol etílico	0.044 kg (kilogramos)
$V_{\text{alcohol etílico}}$	Volumen de alcohol etílico	0.05 l (litros)

$$\rho_{\text{alcohol etílico}} = m_{\text{alcohol etílico}} / V_{\text{alcohol etílico}}$$

$$\rho_{\text{alcohol etílico}} = 0.044 \text{ kg} / 0.05 \text{ l}$$

$$\rho_{\text{alcohol etílico}} = 0.88 \text{ kg} / \text{l}$$

Calculo de la masa de alcohol etílico

$$m_{\text{alcohol etílico}} = V_{\text{alcohol etílico}} * \rho_{\text{alcohol etílico}}$$

$$m_{\text{alcohol etílico}} = 0.88 \text{ kg} * 258 \text{ ml} * \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}}$$

$$m_{\text{alcohol etílico}} = 0.227 \text{ kg}$$

$$\frac{58 \text{ gr}}{100 \text{ ml}} * 258 \text{ ml} = 149.64 \text{ gr}$$

Donde:

$$\frac{58 \text{ gr}}{100 \text{ ml}} = 58 \text{ °GL final}$$

$$X_{\text{alcohol etílico}} = \frac{0.058 \text{ kg} * 100\%}{0.227 \text{ kg}}$$

$$X_{\text{alcohol etílico}} = 25.55 \% \text{ alcohol etílico}$$

$$X_{\text{agua}} = 74.45 \% \text{ agua}$$

Utilizando la Ec. 2-9.1.9 se obtiene:

$$W = R + Z$$

$$6.993 \text{ kg} / \text{ día} = 0.258 \text{ kg} / \text{ día} + Z$$

$$Z = 6.741 \text{ kg} / \text{ día}$$

Empleando la Ec. 2-9.1.2, se obtiene

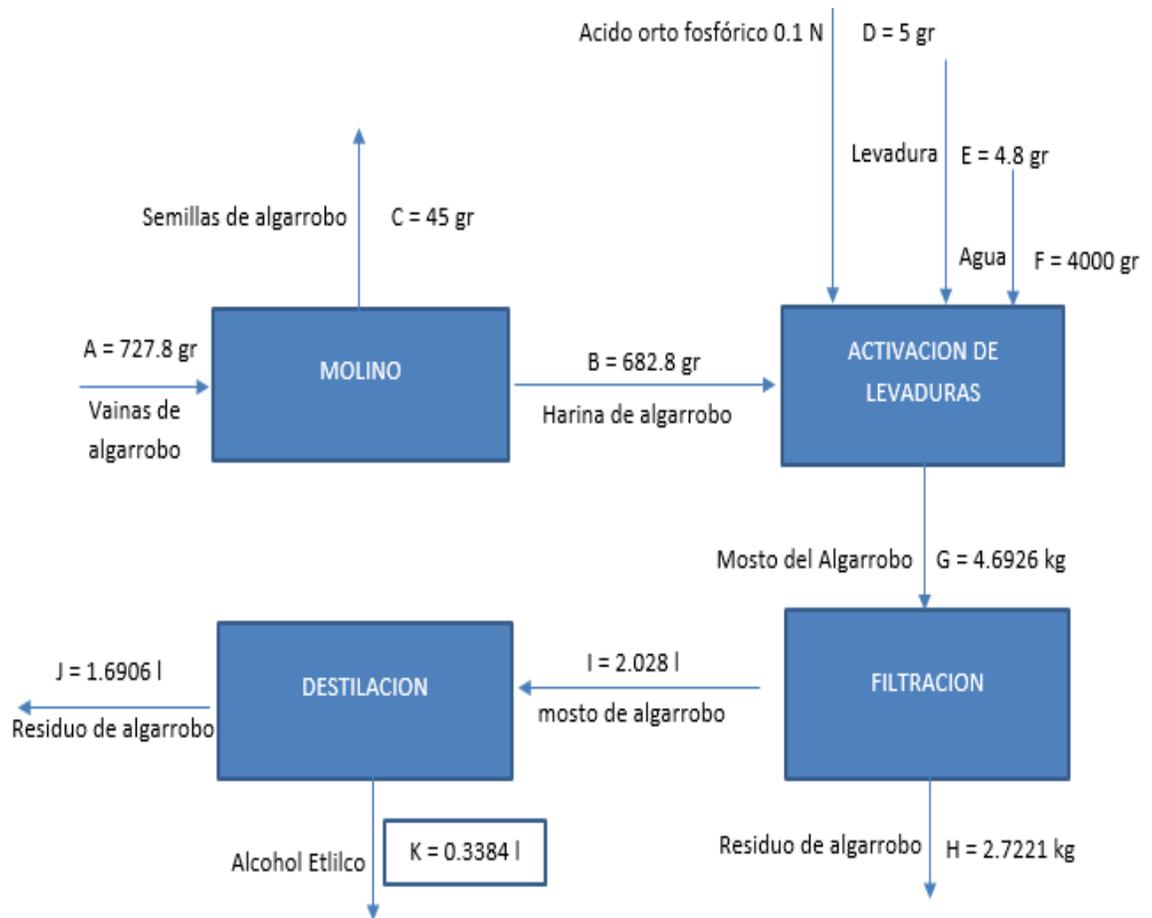
$$W * X_W = R * X_R + Z * X_Z$$

$$6.993 \text{ kg} / \text{ día} * 0.03 = 0.252 * 0.25 + 6.735 * X_Z$$

$$X_Z = 0.0059 \text{ (concentración de alcohol etílico en el residuo)}$$

$$X_{\text{agua en el residuo}} = 0.022$$

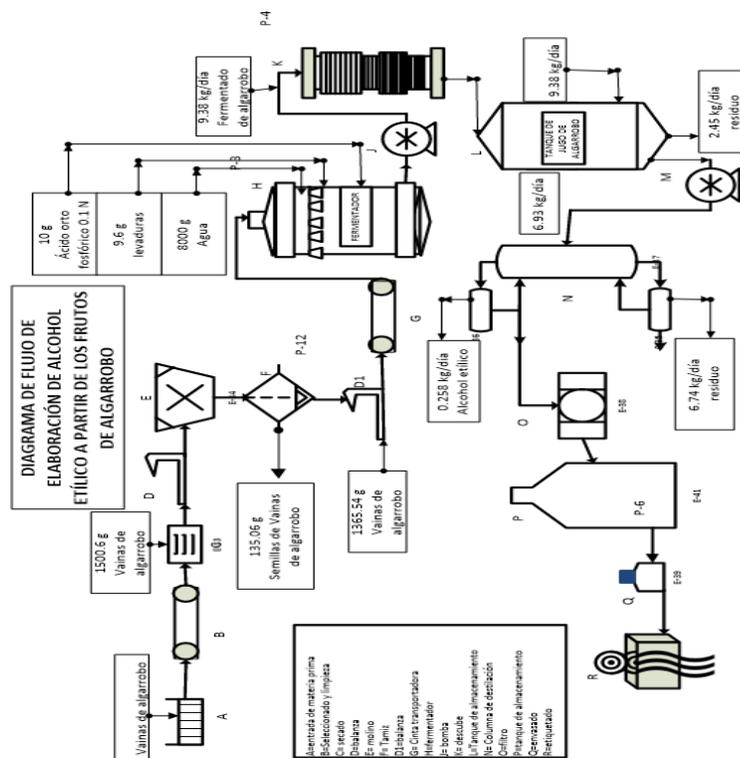
**2.11. BALANCE GENERAL DEL PROCESO DE OBTENCION DE
ALCOHOL ETILICO EN EL ROTA VAPOR**



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Para la obtención de 1 litro de alcohol etílico con 13.5° GL , trabajando con el equipo de rota vapor es necesario contar con 2017.73 gramos de harina de algarroba y 11816.05 mililitros de agua, para proceder con la activación de la levadura se debe trabajar con 14.77 gramos de nutrientes y 14.17 gramos de levaduras, garantizando una conversión efectiva de sus azúcares.

2.12. BALANCE GENERAL DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO EN LA COLUMNA DE DESTILACIÓN



Act
Ve 2

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Para la obtención de 1 kg/día de alcohol etílico con 22.5 °GL, trabajando el equipo de la columna de destilación es necesario contar con 5292.79 gramos de harina de algarroba y 31007.75 mililitros de agua, para proceder con la activación de la levadura se debe trabajar con 385.75 gramos de nutrientes y 37.21 gramos de levaduras, garantizando una conversión efectiva de sus azúcares

2.12. BALANCE DE ENERGIA EL ROTA VAPOR

2.12.1. CALOR GENERADO PARA CALENTAR LA MUESTRA

$$Q = \text{masa de jugo de algarrobo} \int_{t_0}^{t_d} c_p \text{ jugo de algarrobo} dt \text{ (ec.2.12.1.1)}$$

Donde:

Termino	Definición	Datos
Q	Calor requerido para calentar la muestra	6.061 KJ
m mezcla	Masa del jugo de algarrobo (mezcla de etanol-agua)	1.969 Kg
Cp agua	Calor especifico del agua	1cal/g °C
X agua	Composición de agua presente en la mezcla	0.969
Cp etanol	Calor especifico del etanol	2.44 J/g °K
X alcohol etílico	Composición especifica de etanol en el agua	0.030
To	Temperatura inicial	20 °C
Td	Temperatura final	78 °C

Datos iniciales de composición de agua y alcohol etílico en la muestra

$$m_{\text{jugo de algarrobo}} = 2028 \text{ ml jugo de algarrobo} * \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}} * 0.971 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$$

$$m_{\text{jugo de algarrobo}} = 1.969 \text{ kg jugo de algarrobo}$$

$$3 \frac{\text{g}}{100 \text{ ml}} * 2028 \text{ ml} = 60.84 \text{ gr}$$

$$X \text{ etanol} = \frac{0.061 \text{ kg} * 100\%}{1.969 \text{ kg}}$$

X alcohol etílico = 3.098 % alcohol etílico

X agua = 96.96 % agua

Donde:

$$3 \frac{\text{g}}{100 \text{ ml}} = 3^\circ\text{GL inicial}$$

$$Cp \text{ agua liquida} = \frac{1 \text{ cal}}{\text{gr } ^\circ\text{C}} * \frac{4.1868 * 10^{-3} \text{ KJ}}{1 \text{ J}} * \frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ kg}} = 4.48 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}^\circ\text{C} + 273}$$

$$= 0.0164 \frac{\text{KJ}}{\text{kg } ^\circ\text{K}}$$

$$Cp \text{ alcohol etilico} = 2.44 \frac{\text{J}}{\text{gr } ^\circ\text{K}} * \frac{0.001 \text{ KJ}}{1 \text{ J}} * \frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ kg}} = 2.44 \frac{\text{KJ}}{\text{kg } ^\circ\text{K}}$$

Empleando la (Ec. 2.12.1.1), se obtiene:

$$Q_1 = (m \text{ jugo de algarrobo} (X \text{ agua} - Cp \text{ agua}) + (X \text{ alcohol} - Cp \text{ alcohol})) * \Delta t$$

$$Q_1 = \left(1.9699 \text{ kg} \left(0.969 * 0.0164 \frac{\text{KJ}}{\text{kg } ^\circ\text{K}} \right) + \left(0.031 * 2.44 \frac{\text{KJ}}{\text{kg } ^\circ\text{K}} \right) \right) * (78 + 273.15) - (20 + 273.15)^\circ\text{K}$$

$$Q_1 = 6.061 \text{ KJ}$$

2.12.2. CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN

$$Q_{latente\ mezcla} = m_{mezcla} \sum_{i=1} X_i * \Delta h_{vi} \quad (\text{Ec. 2.12.2.1})$$

$$Q_{latente\ mezcla} = 1.9699\text{ kg} * ((0.969 * 2257) + (0.031 * 841)) \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_{latente\ mezcla} = 4359.59\text{ KJ}$$

2.112.3. CALOR ABSORBIDO POR EL CONDENSADOR

$$Q_{cond} = m_{agua} * \Delta t = m_{agua} * C_{p_{agua}} * (T_{salida} - T_{entrada}) \quad (\text{Ec. 2.12.3.1})$$

Termino	Definición	Datos
Q_{cond}	Calor que absorbe el condensador	
m_{agua}	Masa de agua que pasa por el condensador	1183600 gr
$C_{p_{agua}}$	Capacidad calorífica del agua líquida	1 cal/gr °C
$T_{entrada}$	Temperatura de entrada de agua al condensador	18 °C
T_{salida}	Temperatura de salida de agua del condensador	22 °C

Se obtiene Cp del agua de las tablas del libro Smith-Van Ness, cuarta edición.

La temperatura de entrada y salida del condensador son datos tomados de la parte experimental, la masa del agua se calcula con datos tomados de la parte experimental, se toma como dato el tiempo y el volumen que dura el proceso de destilación

Por lo tanto, de la (Ec. 2.12.3.1) se obtiene:

$$Q_{cond} = 183600\text{ g} * 1 \frac{\text{cal}}{\text{gr } ^\circ\text{C}} * (22 - 18) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{cond} = 734400 \text{ cal} * 4.184 \frac{\text{J}}{\text{cal}} * \frac{1 \text{ KJ}}{1000\text{J}}$$

$$Q_{cond} = 3072.729 \text{ KJ}$$

2.10.4. CALOR TOTAL

$$Q_{total} = Q_{sensible} + Q_{calor \text{ latente de vaporizacion}} - Q_{absorbido}$$

$$Q_1 = Q_{calor \text{ latente de vaporizacion}} - Q_{condicional} \quad (\text{Ec. 2.12.4.1})$$

$$Q_{total} = 6.061 \text{ KJ} + 4359.59 \text{ KJ} + 3072.729\text{KJ}$$

$$Q_{total} = 7438.38\text{KJ}$$

2.12.5. BALANCE DE ENERGIA EN LA COLUMNA DE DESTILACIÓN

2.12.5.1. CALOR GENERADO PARA CALENTAR LA MUESTRA

$$Q = \text{masa de jugo de algarrobo} \int_{t_0}^{t_d} c_p \text{ jugo de algarrobo} dt \quad (\text{Ec.2.12.5.1})$$

Donde:

Termino	Definición	Datos
Q	Calor requerido para calentar la muestra	KJ
m mezcla	Masa del jugo de algarrobo (mezcla de etanol-agua)	6.993 kg
Cp agua	Calor especifico del agua	1cal/g °C
X agua	Composición de agua presente en la mezcla	0.969

Cp etanol	Calor especifico del etanol	2.44 J/g °K
X alcohol etílico	Composición especifica de etanol en el agua	0.030
To	Temperatura inicial	20 °C
Td	Temperatura final	78 °C

$$Cp \text{ agua liquida} = \frac{1 \text{ cal}}{\text{gr } ^\circ\text{C}} * \frac{4.1868 * 10^{-3} \text{ KJ}}{1 \text{ J}} * \frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ kg}} = 4.48 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}^\circ\text{C} + 273}$$

$$= 0.0164 \frac{\text{KJ}}{\text{kg } ^\circ\text{K}}$$

$$Cp \text{ alcohol etilico} = 2.44 \frac{\text{J}}{\text{gr } ^\circ\text{K}} * \frac{0.001 \text{ KJ}}{1 \text{ J}} * \frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ kg}} = 2.44 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}^\circ\text{K}}$$

Empleando la (Ec. 2.12.5.1), se obtiene:

$$Q_1 = (m \text{ jugo de algarrobo } (X \text{ agua} - Cp \text{ agua}) + (X \text{ alcohol} - Cp \text{ alcohol})) * \Delta t$$

$$Q_1 = \left(6.993 \text{ kg} \left(0.969 * 0.0164 \frac{\text{KJ}}{\text{kg } ^\circ\text{K}} \right) + \left(0.030 * 2.44 \frac{\text{KJ}}{\text{kg } ^\circ\text{K}} \right) \right)$$

$$* (78 + 273.15) - (20 + 273.15)^\circ\text{K}$$

$$Q_1 = 36.14 \text{ KJ}$$

2.12.5.2. CALOR LATENTE DE VAPORIZACION

$$Q_{latente\ mezcla} = m_{mezcla} \sum_{i=1} X_i * \Delta h_{vi} \quad (\text{Ec. 2.12.6.1})$$

$$Q_{latente\ mezcla} = 6.993\ kg * ((0.969 * 2257) + (0.031 * 841)) \frac{KJ}{kg}$$

$$Q_{latente\ mezcla} = 15479.8\ KJ$$

2.12.5.3 CALOR ABSORBIDO POR EL CONDENSADOR

$$Q_{cond} = m_{agua} * \Delta t = m_{agua} * C_{p_{agua}} * (T_{salida} - T_{entrada}) \quad (\text{Ec. 2.12.7.1})$$

Termino	Definición	Datos
Q_{cond}	Calor que absorbe el condensador	
C_{agua}	Caudal volumétrico del agua	4200 cm^3/min
$T_{tiempo\ D}$	Tiempo de destilación	180 min
m_{agua}	Masa de agua que pasa por el condensador	gr
$C_{p_{agua}}$	Capacidad calorífica del agua líquida	1 cal/gr °C
$T_{entrada}$	Temperatura de entrada de agua al condensador	18 °C
T_{salida}	Temperatura de salida de agua del condensador	21 °C

Se obtiene C_p del agua de las tablas del libro Smith-Van Ness, cuarta edición.

La temperatura de entrada y salida del condensador son datos tomados de la parte experimental

Para calcular la masa de agua, primero se deberá encontrar el volumen de agua durante la destilación.

Por lo tanto

$$Vol_{agua} = C_{agua} * T_{tiempo} D$$

$$Vol_{agua} = 4200 \text{ cm}^3/\text{min} * 180 \text{ min}$$

$$Vol_{agua} = 756000 \text{ cm}^3$$

Una vez que se ha encontrado el volumen del agua, la masa se encuentra a través de la fórmula de la densidad:

$$\rho_{agua} = m_{agua} / V_{agua}$$

Donde:

Termino	Definición	Datos
ρ_{agua}	Densidad del agua	$0.997 \text{ gr}/\text{cm}^3$
m_{agua}	Masa de agua que pasa a través del condensador	75373.2 gr
V_{agua}	Volumen del caudal encontrado a través del caudal	75600 cm^3

$$m_{agua} = \rho_{agua} * V_{agua}$$

$$m_{agua} = 0.997 \text{ gr}/\text{cm}^3 * 75600 \text{ cm}^3$$

$$m_{agua} = 75373.2 \text{ gr}$$

Entonces, como resultado de la (Ec.2-9.2.3.1) se tiene:

$$Q_{cond} = m_{agua} * \Delta t = m_{agua} * C_{p_{agua}} * (T_{salida} - T_{entrada})$$

$$Q_{cond} = 75373.2 \text{ gr} * 1 \text{ cal}/\text{gr}^\circ \text{C} * (21 - 18)^\circ \text{C}$$

$$Q_{cond} = 226119.6 \text{ Cal} * 4.184 \frac{\text{J}}{\text{cal}} * \frac{1 \text{ KJ}}{1000 \text{ J}}$$

$$Q_{cond} = 946.084 \text{ KJ}$$

2.12.5.4. CALOR TOTAL

El calor total para el balance de energía, resulta de la sumatoria de todos calores obtenidos durante la destilación

$$Q_{total} = Q_{sensible} + Q_{calor \text{ latente de vaporización}} - Q_{absorbido}$$

$$Q_1 = Q_{calor \text{ latente de vaporización}} - Q_{condicional} \quad (\text{Ec. 2.12.7.1})$$

$$Q_{total} = 36.14 \text{ KJ} + 15479.84 \text{ KJ} + 946.084 \text{ KJ}$$

$$Q_{total} = 14569.896 \text{ kJ}$$

2.13. COSTOS DE LA OBTENCIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO A PARTIR DE LOS FRUTOS DE ALGARROBO, UTILIZANDO COMO EQUIPO DE DESTILACIÓN EL ROTA VAPOR

Para la determinación de los costos directos de la elaboración del alcohol etílico, se analizó y valoró los diferentes aspectos involucrados en el proceso.

El análisis de costos se realiza con el fin de visualizar una tentativa económica del proceso de obtención de alcohol etílico, permitiendo analizar la posibilidad y viabilidad del proyecto.

2.13.1. ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS DEL PROYECTO

En la tabla siguiente, se muestra los aspectos tomados en cuenta durante la realización del proyecto, para el cálculo y análisis necesarios.

**TABLA II-16 ANALISIS DE COSTO DEL PROYECTO PARA LA
OBTENCION DE ALCOHOL ETÍLICO**

N°	Actividad	Detalle	P / U Bs.	Costo Bs.
MATERIA PRIMA				
1	obtención de los frutos de algarrobo	materia prima obtenida en el municipio de Villa Montes ubicada en la ciudad del sur de Bolivia en el departamento de Tarija, dentro de la primera región autónoma, Gran Chaco.	150	300
INSUMOS				
1	Ácido orto Fosfórico 0,1 N	Insumo requerido para la preparación de la activación de la levadura antes de iniciar el proceso de fermentación	65	65
2	Levadura seleccionada seca	Insumo requerido para la activación de la fermentación	75	75
3	Agua de meza purificada y ozonizada	Insumo utilizado para la fermentación de la materia prima	18	36
4	Agua destilada	obtenida para permitir el control de la degradación de los azúcares presentes en la fermentación	10	10
SERVICIOS BASICOS				
1	Energía Eléctrica	Consumo de energía eléctrica de los equipos utilizados en los procesos de fermentación y destilación	0,832 Bs/ k Wh	129.1264 Bs
2	Agua potable	consumo de agua potable en la refrigeración del proceso de destilación	5.90 Bs/m ³	6.98 Bs
EQUIPOS				
1	Termostato de Inmersión	equipo utilizado en el proceso de la fermentación para el control de la temperatura	0	0

2	Rota vapor	equipo utilizado en la etapa de la destilación	0	0
total	622.1064 Bs			

Fuente: Elaboración propia, 2018.

2.13.2. SERVICIOS BASICO DE ENERGÍA ELECTRICA

- Energía eléctrica utilizada en el termostato de inmersión

Para el consumo de la energía eléctrica del proceso de fermentación y destilación.

El tiempo de fermentación duro siete días según correspondia el diseño factoria, por lo tanto:

El tiempo de fermentación es : 168 horas (h)

Por lo tanto el consumo de energía eléctrica (E. E) será:

Consumo de E. E (termostato de inmersión) = 0,80 kW * 180 h

Consumo de E. E (termostato de inmersión) = 144 kWh

Incluyendo la tarifa económica impuesta por la empresa proveedora de luz en el departamento de Tarija, SETAR, se tendrá:

Consumo de E. E (termostato de inmersión) = consumo * Tarifa Establecida

Consumo de E. E (termostato de inmersión) = 144 kWh * 0,832 Bs/ kWh

Consumo de E. E (termostato de inmersión) = 119.808 Bs

- Energía eléctrica utilizada en el rota vapor

Para el consumo de la energía eléctrica del proceso de la destilación.

El tiempo de destilación duro dos días y se trabajó durante 14 hora , por lo tanto:

El tiempo de destilación es: 14 horas (h)

Por lo tanto, el consumo de energía eléctrica (E. E) será:

Consumo de E. E (rota vapor) = 0,80 kW * 14 h

Consumo de E. E (rota vapor) = 11.2 kWh

Incluyendo la tarifa económica impuesta por la empresa proveedora de luz en el departamento de Tarija, SETAR, se tendrá:

Consumo de E. E (rota vapor) = consumo * Tarifa Establecida

Consumo de E. E (rota vapor) = 11.2 kWh * 0,832 Bs/ kWh

Consumo de E. E (rota vapor) = 9.3184 Bs

Energía total consumida durante todo el proceso

Enenergía total = Consumo de E. E (rota vapor) + Consumo de E. E (termostato de inmersión)

Enenergía total = 9.3184 Bs + 119.808 Bs

Enenergía total = 129.1264 Bs

2.13.3. SERVICIO BASICO DE AGUA POTABLE

El agua potable consumida es utilizada para la refrigeración del condensador del rota vapor durante la destilación.

El tiempo de destilación duro 14 horas = 840 min

Entonces el flujo del agua suministrado en esta etapa será:

Consumo de agua potable (rota vapor) = $Q_{\text{agua}} * T$

Consumo de agua potable (rota vapor) = 1409. 047 cm^3 / min * 840 min

Consumo de agua potable (rota vapor) = 1183599.48 cm^3

Consumo de agua potable (rota vapor) = 1.1836 m^3

Incluyendo la tarifa económica de consumo de agua potable impuesta por la empresa proveedora de agua en el departamento de Tarija, COSAALT. Ltda. Se tendrá

Consumo de agua potable (rota vapor) = consumo * tarifa

Consumo de agua potable (rota vapor) = 1.1836 m^3 * 5.90 Bs/ m^3

Consumo de agua potable (rota vapor) = 6.98 Bs

2.13.4. COSTOS DE LA OBTENCION DE ALCOHOL ETÍLICO A PARTIR DE LOS FRUTOS DE ALGARROBO, UTILIZANDO COMO EQUIPO, LA COLUMNA DE DESTILACIÓN

2.11.4.1. ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS DEL PROYECTO

En la tabla siguiente, se muestra los aspectos tomados en cuenta durante la realización del proyecto, para el cálculo y análisis necesarios.

TABLA II-17. ANALISIS DE COSTO DEL PROYECTO PARA LA OBTENCION DE ALCOHOL ETÍLICO

N°	Actividad	Detalle	P / U Bs.	Costo Bs.
MATERIA PRIMA				
1	obtención de los frutos de algarrobo	materia prima obtenida en el municipio de Villa Montes ubicada en la ciudad del sur de Bolivia en el departamento de Tarija, dentro de la primera región autónoma, Gran Chaco.	150	300
INSUMOS				
1	Ácido orto Fosfórico 0,1 N	Insumo requerido para la preparación de la activación de la levadura antes de iniciar el proceso de fermentación	65	65
2	Levadura seleccionada seca	Insumo requerido para la activación de la fermentación	75	75
3	Agua de meza purificada y ozonizada	Insumo utilizado para la fermentación de la materia prima	18	36
4	Agua destilada	obtenida para permitir el control de la degradación de los azúcares presentes en la fermentación	10	10
SERVICIOS BASICOS				

1	Energía Eléctrica	Consumo de energía eléctrica de los equipos utilizados en los procesos de fermentación y destilación	0,832 Bs/ k Wh	123.136 Bs
2	Agua potable	consumo de agua potable en la refrigeración del proceso de destilación	5.90 Bs/m ³	7.08 Bs
EQUIPOS				
1	Termostato de Inmersión	equipo utilizado en el proceso de la fermentación para el control de la temperatura	0	0
2	Columna de destilación	equipo utilizado en la etapa de la destilación	0	0
total	616.216 Bs			

Fuente: Elaboración propia, 2018.

2.13.4.2. SERVICIOS BASICO DE ENERGÍA ELECTRICA

- Energía eléctrica utilizada en la columna de destilación

Para el consumo de la energía eléctrica del proceso de la destilación.

El tiempo de destilación duro 1 día de trabajó, durando 5 horas, por lo tanto:

El tiempo de destilación es: 5 horas (h)

Por lo tanto, el consumo de energía eléctrica (E. E) será:

Consumo de E. E (rota vapor) = 0,80 kW * 5 h

Consumo de E. E (rota vapor) = 4 kWh

Incluyendo la tarifa económica impuesta por la empresa proveedora de luz en el departamento de Tarija, SETAR, se tendrá:

Consumo de E. E (columna de destilación) = consumo * Tarifa Establecida

Consumo de E. E (columna de destilación) = 4 kWh * 0,832 Bs/ kWh

Consumo de E. E (columna de destilación) = 3.328 Bs

Energía total consumida durante todo el proceso

Energía total = Consumo de E. E (columna de destilación) + Consumo de E. E (termostato de inmersión)

Energía total = 3.328 Bs + 119.808 Bs

Energía total = 123.136 Bs

2.13.4.3. SERVICIO BASICO DE AGUA POTABLE

El agua potable consumida es utilizada para la refrigeración del condensador de la columna de destilación durante la destilación.

El tiempo de destilación duro 5 horas = 300 min

Entonces el flujo del agua suministrado en esta etapa será:

Consumo de agua potable (columna de destilación) = $Q_{\text{agua}} * T$

Consumo de agua potable (columna de destilación) = $4200 \text{ cm}^3/\text{min} * 300 \text{ min}$

Consumo de agua potable (columna de destilación) = 1260000 cm^3

Consumo de agua potable (columna de destilación) = 1.26 m^3

Incluyendo la tarifa económica de consumo de agua potable impuesta por la empresa proveedora de agua en el departamento de Tarija, COSAALT. Ltda. Se tendrá

Consumo de agua potable (columna de destilación) = consumo * tarifa

Consumo de agua potable (columna de destilación) = $1.2 \text{ m}^3 * 5.90 \text{ Bs}/\text{m}^3$

Consumo de agua potable (columna de destilación) = 7.08 Bs

2.14. ANALISIS SENSORIAL

Análisis Sensorial o Evaluación Sensorial, es el análisis estrictamente normalizado de los alimentos que se realizan con los sentidos. Se emplea la palabra “normalizado”, porque implica el uso de técnicas específicas perfectamente estandarizados, con el objeto de disminuir la subjetividad en las respuestas. Las empresas lo usan para el control de calidad de sus productos, ya sea durante la etapa del desarrollo o durante el proceso de rutina. Detrás de cada alimento que nos llevamos a la boca existen

procedimientos para hacerlos apetecibles y de buena calidad para el consumo. Uno de estos aspectos es el Análisis Sensorial, que consiste en evaluar la propiedades organolépticas de los productos. El análisis sensorial de los alimentos se puede realizar a través de diferentes pruebas, según la finalidad para la que estén diseñados a grandes rasgos se habla de tres grandes grupos:

2.14.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Consiste en la descripción de las propiedades sensoriales (parte cualitativa) y su medición (parte cuantitativa). Para la primera etapa se trata de ver a qué recuerda cómo se describe cada olor (por lo general se utiliza en sustancias químicas). A medida que transcurre el entrenamiento, la persona reconoce el olor e inmediatamente lo describe “estimulo”, en esta fase se comienza a trabajar con el producto que será objeto de la evaluación y se desarrolla un vocabulario de ocho a quince palabras para describirlo. La segunda parte está basada en aprender a medir con diferentes escalas.

2.14.2. ANÁLISIS DISCRIMINATIVO

Es utilizado para comprobar si hay diferencias entre productos, se hace un juicio global donde dos son iguales y una tercera es diferente.

2.14.3. TEST DEL CONSUMIDOR O TEST HEDÓNICO

En este caso se trabaja con evaluadores no entrenados y la pregunta es si les agrada o no el producto. El consumidor. Se requiere que el consumidor sea habitual del producto que está en evaluación.

2.14.4. EVALUACIÓN SENSORIAL ELEGIDA

Para llevar a cabo la evaluación sensorial o degustación respectiva, se eligió utilizar el test del consumidor o test hedónico, basado en la escala hedónica de 7 puntos de evaluación con un panel de degustación conformado por 10 jueces.

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis estadístico para determinar el grado de aceptación de producto.

CAPITULO III
RESULTADOS Y DISCUSION

CAPITULO III

RESULTADOS Y RECOMENDACIONES

3.1. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARTE EXPERIMENTAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACION

3.1.1. RESULTADOS GENERALES DE LA MOLIENDA Y LA INOCULACION DE LA LEVADURA

En el proceso de la molienda se obtuvo 682.8 gramos de harina de algarrobo, ya que en la molienda se preparó previamente las vainas de algarrobo, que inicialmente tenían un peso de 727.8 gramos que incluía las semillas, que representa 45 gramos los cuales son desechados.

En la activación de la levadura se tiene como dato 4.8 gramos de levadura y 5 gramos de Ácido Fosfórico ya que con esa cantidad la conversión de los azúcares en alcohol fue más eficiente, por otro lado, se preparó el jugo de algarrobo.

En 4000 gramos de agua se agregó 682.8 gramos de harina de algarrobo, haciendo un total de 4692.6 gramos en peso, dato que se obtiene para las muestras en el proceso, la misma se modifica en los siguientes procesos que son la filtración y la destilación.

3.1.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PROCESO DE FERMENTACION

En el proceso de la fermentación es muy importante, la medición de la concentración de los azúcares fermentables ya que a través de este control podremos saber si la fermentación sigue su curso o a finalizado.

La concentración de los azúcares disminuye a medida que transcurre la fermentación, tal y como se podrá apreciar en las tablas de medición, de la degradación de ° Brix en función a la cantidad de levadura en 7 días.

Las tablas fueron elaboradas a base de cuatro experimentos más su réplica de los cuales los resultados están plasmados en las tablas que se encuentran el anexo A.

Se utilizó diferentes cantidades de levadura para poder determinar un mejor rendimiento de la levadura.

Se trabajó con 3.00 gramos, 4.00 gramos, 4.8 gramos y 5.55 gramos.

Se dieron las condiciones ambientales necesarias para que el rendimiento de la fermentación proceda con normalidad,

Se inició la fermentación con 9° Brix y 7° Brix, los ° Brix disminuyen cuando se inicia el proceso fermentativo, este control se realiza con el refractómetro, realizando tres mediciones durante el día exactamente cada cuatro horas, para darnos cuenta que la fermentación ha culminado los ° Brix llegaron a 0 o como en nuestro caso a 2.6, 2.4 y 2.0 los cuales se mantuvieron constantes el día 7 de fermentación.

Por tanto, se concluye que la cantidad adecuada de levadura es de 4.8 gramos, ya que con esa cantidad la conversión de los azúcares en alcohol fue la más eficiente la cual se puede observar en la tabla A- 1, que se encuentra en el anexo A.

De acuerdo a las figuras de la degradación de azúcares con respecto al tiempo, que se encuentran en el anexo B, se puede observar que en las primeras horas (de 0 a 80 horas) existió una degradación rápida, mientras que las que las siguientes 80 horas la degradación fue mucha más lenta y casi constante.

3.1.3. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA FILTRACION

Los resultados obtenidos de la fermentación para las distintas pruebas de filtración se muestran en la III-1.

TABLA III-2. RESULTADOS EN LA DECANTACIÓN

Muestras	Residuo del jugo de algarrobo en kg	Jugos a destilara en kg	Jugos a destilar en l
1	2.7221	1.9731	2.0320
2	2.7481	1.9682	2.0269
3	2.77221	1.9699	2.0287
4	2.7361	1.9668	2.0255
5	2.7574	1.9532	2.0115
6	2.7921	1.9637	2.0223
7	2.7987	1.6853	1.7356
8	2.7242	1.6082	1.6562

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Para obtener los valores de los jugos a destilar, se utiliza la siguiente formula, como se calculó la densidad del jugo de algarroba en laboratorio de operaciones unitarias, dando como resultado 0.971 kg/l y la masa del jugo de algarroba de cada muestra que se tiene como dato fácilmente se calcula el volumen del mismo. Por ejemplo, para la muestra 1, que corresponde al jugo a destilar.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{1.9731kg}{\frac{0.971kg}{l}}$$

$$V = 2.0320 l$$

De esa manera se obtendrá los datos de las siguientes muestras.

Cabe resaltar que una cantidad considerable de masa es desechada en la filtración por lo tanto solo se puede recuperar 2.0320 L de jugo de algarrobo.

3.1.4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROCESO DE DESTILACION CON EL ROTA VAPOR

En el proceso de destilación se obtienen los resultados que se expresaran en la tabla III-2.

TABLA III-2. RESULTADOS DEL PROCESO DE DESTILACION

Muestra	Jugo a destilar (l)	Residuo de destilación (l)	Perdidas (l)	Alcohol étílico (l)
1	2.0287	0.3378	0.003	0.3581
2	2.0269	0.3381	0.003	0.3459
3	2.0320	0.3396	0,003	0.3964
4	2.0255	0.3375	0,003	0.3345
5	2.0115	0.3352	0,003	0.3756
6	2.0223	0.3370	0,003	0.3564
7	1.1356	0.1892	0,003	0.3489
8	1.6562	0.2726	0,003	0.3498

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Los datos expuestos en la tabla III-2. muestran los resultados obtenidos que de 727.8 gr de harina de algarroba se pudo obtener un jugo de hasta 2.0287 l con una concentración de hasta 13.53° GL.

3.1.5. PARAMETROS OPTIMOS PARA LA OBTENCION DE ALCOHOL ETÍLICO POR DESTILACION

Las variables que se consideran en el proceso de destilación son: la temperatura y el tiempo; parámetros que se controlan para poder saber qué condiciones son las adecuadas para obtener mejores resultados.

Por lo tanto, se llega a la conclusión que el tiempo es una variable significativa en dicho proceso. En la tabla III-11. se puede observar los resultados de las diferentes muestras.

TABLA III-3. RESULTADOS GENERALES DEL PROCESO DE DESTILACIÓN

Muestra	T (h)	Temp (°C)	Vol (ml)	°GL
1	1:30	75	358.1	10
2	2:00	78	345.9	9
3	1:30	75	396.4	13.53
4	2:00	78	334.5	12
5	1:30	75	375.6	10
6	2:00	78	356.4	8
7	1:30	75	348.9	11
8	2:00	78	349.8	9

Fuente: Elaboración propia ,2018.

Donde:

Temp (°C)= temperatura de destilación en grados centígrados

T (h)= tiempo de destilación expresado en horas

Vol (ml)= volumen de alcohol etílico obtenido expresado en mililitros

Como se puede observar claramente en la tabla que la variable tiempo es muy importante ya que a mayor tiempo de destilación mayor cantidad de alcohol etílico tendremos, pero la concentración del mismo disminuirá.

Por tanto, llegamos a la conclusión que el tiempo es directamente proporcional a la cantidad de alcohol etílico obtenido e inversamente proporcional a la concentración de alcohol etílico

3.1.6. COMBINACION DE VARIABLES PARA LA DESTILACIÓN

Para hacer la combinación de variables se toma en cuenta las variables de tiempo y temperatura, con los niveles superior e inferior; la misma se muestra en la tabla III-12

TABLA III-4. VARIABLES PARA LA DESTILACION

Nivel	Tiempo (h)	Temperatura (°C)
Superior	2:00	78
Inferior	1:30	75

Fuente: Elaboración propia, 2018.

TABLA III-5. COMBINACIÓN DE VARIABLES DE DESTILACIÓN

Muestra	Tiempo	°Brix	Variable respuesta Vol. destilado (ml)
1	1	-1	358.1
2	1	1	345.9
3	-1	-1	396.4
4	-1	1	334.5
5	1	-1	375.6
6	1	1	356.4
7	-1	-1	348.9
8	-1	1	349.8

Fuente: elaboración propia, 2018.

3.1.7. RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROCESO DE DESTILACION CON LA COLUMNA DE DESTILACIÓN

En el proceso de destilación se obtienen los resultados que se expresaran en la tabla

III-6

TABLA III-6. RESULTADOS DEL PROCESO DE DESTILACION

Muestra	Jugo a destilar (l)	Potencia (kW)	T ebullición (° C)	Tiempo de destilación (min)
1	7	2.23	85	240
2	7	2.30	94	240

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Los datos expuestos en la tabla III-6 Donde se muestran las diferentes temperaturas de ebullición del jugo de algarrobo que varían en función de la potencia designada en la consola de control de la columna de destilación

3.1.8. PARAMETROS OPTIMOS PARA LA OBTENCION DE ALCOHOL ETÍLICO POR DESTILACIÓN

Las variables que se consideran en el proceso de destilación es la potencia ya que con la misma podremos definir la temperatura designada en el diseño factorial; parámetro que se controla para poder saber qué condiciones son las adecuadas para obtener mejores resultados.

Por lo tanto, se llega a la conclusión que la potencia es una variable significativa en dicho proceso. En la tabla III-11. se puede observar los resultados de las diferentes muestras.

**TABLA III-7. RESULTADOS GENERALES DEL PROCESO DE
DESTILACION**

Muestra	Tiem (h)	T(° C)	Vol (ml)	Potencia (kW)	° GL
1	4:00	78.5	258	2.23	22.5
2	4:00	76.2	247	2.00	23.1

Fuente: Elaboración propia ,2018.

Donde:

T (°C)= temperatura de destilación en grados centígrados

Tiem (h)= tiempo de destilación expresado en horas

Vol (ml)= volumen de alcohol etílico obtenido expresado en mililitros

° GL = grados alcoholicos

en la tabla III-8.... podra observarse el rendimiento de cada equipo en la etapa de la destilación.

**TABLA III-8. COMPARACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPO
EN LA ETAPA DE LA DESTILACIÓN**

ROTA VAPOR				COLUMNA DE DESTILACIÓN				
T(h)	T(° C)	Vol (ml)	° GL	Tiem (h)	T(° C)	Vol (ml)	Potencia (Kw)	° GL
1:30	78	0.338	13.53	4	78.5	258	2.23	22.5
2:00	75	0.3352	9	4	76.2	247	2.00	22.0

Como se puede apreciar en la tabla.... En la columna de destilación se obtiene un producto final mas concentrado ya que la misma cuenta con un sistema de control que no permite perdidas de 100roducto, por otro lado el rotavapor nos genera perdidas por accesorios del montaje del equipo

3.2. EVALUACIÓN SENSORIAL

3.2.1. EVALUACIÓN DEL ATRIBUTO DE LA VISTA

La importancia de la propiedad de la vista tiene como porcentaje el 20%.

Esta propiedad a su vez se clasifica en dos partes:

- Viscosidad y limpidez (10%)
- Color (10%)
- **COLOR, VISCOSIDAD Y LIMPIDEZ**

En la tabla.III-9. , se puede observar los resultados obtenidos del color viscosidad y limpidez de la diferentes muestras de alcohol etílico obtenidas en la prueba sensorial

TABLA III-9 EVALUACIÓN SENSORIAL SEGÚN EL COLOR, VISCOSIDAD Y LIMPIDEZ

Juez	Color %		Viscosidad y Limpidez %	
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2
1	6	3	5	4
2	6	7	7	7
3	7	7	7	7
4	7	6	6	7
5	6	7	7	7
6	6	6	5	6
7	7	7	6	6

8	6	7	6	7
9	6	7	6	7
10	6	6	6	6
Promedio	6.3	6.3	6.1	6.4

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Nota:

Muestra 1: corresponde al producto obtenido en el rota vapor

Muestra 2 : corresponde al producto obtenido en la columna de destilación

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede concluir que las diferentes muestras de alcohol etílico tiene un promedio elevados de de aceptación con respecto al color, viscosidad y limpidez en la que podemos destacar que producto que se obtiene en la columna de destilación tiene mayor porcentaje en la vicosidad y limpidez con un 6.4 %, ante el producto obtenido en el rota vapor con un 6.1 %.

En el color ambos tuvieron la misma aceptación llegando a un 6.3 % ambos.

3.2.2. EVALUACIÓN DEL ATRIBUTO AL OLOR, AROMA Y EQUILIBRIO

La propiedad del olor tiene como porcentaje de 50% de importancia en las propiedades características del alcohol etílico

En la tabla III-10., se muestra a continuación se observa los resultados obtenidos en la prueba sensorial del olor, aroma y equilibrio.

TABL III-10. PROMEDIO DE LA EVALUACION SENSORIAL DEL AROMA Y EQUILIBRIO

Juez	Olor %		Aroma y Equilibrio %	
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2
1	6	3	6	2

2	1	6	4	6
3	6	7	7	6
4	5	7	6	6
5	5	6	5	6
6	4	6	4	5
7	3	6	5	6
8	4	6	4	6
9	4	6	4	6
10	3	6	3	6
Promedio	4.1	5.9	4.8	5.5

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Nota:

Muestra 1: corresponde al producto obtenido en el rota vapor

Muestra 2 : corresponde al producto obtenido en la columna de destilación

Como se puede observar en los resultados obtenidos de olor, aroma y equilibrio, se puede concluir que la muestra 2 tiene mayor aceptación en el olor con un 5.9 % a diferencia del rota vapor que representa un 4.1 %. En el aroma y equilibrio se puede observar claramente que el producto obtenido la columna de destilación tiene mayor representación con 5.5% a diferencia del rota vapor que tiene 4.8%

3.2.3. EVALUACIÓN DEL ATRIBUTO A LA SUABIDAD Y PERSISTENCIA

En la tabla III-11. se muestra resultados obtenidos en la evaluación sensorial realizada, con respecto a la suavidad y persistencia del alcohol etílico

TABLA III-12. EVALUACION SENSORIAL SEGÚN LA SUABIDAD Y PERSISTENCIA

Juez	Suavidad %		Persistencia %	
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2
1	5	2	7	4
2	6	5	5	4
3	7	5	7	5
4	6	5	2	4
5	6	7	6	7
6	3	2	6	3
7	7	6	6	6
8	5	5	5	6
9	6	5	4	6
10	6	3	7	5
Promedio	5.7	4.5	5.5	5

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Nota:

Muestra 1: corresponde al producto obtenido en el rota vapor

Muestra 2 : corresponde al producto obtenido en la columna de destilación.

Como se puede apreciar en la tabla...podemos concluir que el grado de aceptación en cuanto a la suavidad presenté en alcohol etílico obtenido en el rota vapor tiene mas aceptación con 5.7%, a diferencia que el producto obtenido en la columna de destitución que representa 4.5 %.

Los resultados obtenidos en la persistencia se destaca mas en el rota vapor con 5.5%, a diferencia del producto obtenido en la columna de destilación con 5%,

Esta diferencia se debe a que en la columna de destilación se obtuvo el alcohol etílico con ° GL de 22.2 y en el rota vapor ° GL de 13.53 m

CAPITULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Al concluir el presente trabajo según los resultados obtenidos en el proceso de la investigación se establecen las siguientes conclusiones

- El fruto de algarrobo contiene hasta un 60% de azúcares y carbohidratos en su composición, es un fruto adecuado para la obtención del etanol, llegando a ser una buena alternativa, que incluso puede generar ingresos económicos a las familias de las regiones causando un impacto ambiental relevante, paralelamente forestando áreas que pueden tener impactos ambientales favorables a nuestra región.
- Habiéndose determinado los parámetros fisicoquímicos de las vainas de algarrobo maduras de la variedad *Prosopis sp.* en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), se determinaron las propiedades de cenizas, proteínas, humedad y azúcares totales, dando buenos resultados que se presentan en los anexos.
- El proceso seleccionado fue el adecuado para la realización del trabajo ya que no existió casi interferencia en el proceso de fermentación anaerobia, el diseño factorial en el proceso de fermentación se tomaron en cuenta dos variables, grados Brix y tiempo de fermentación llegando a la conclusión de que a mayor tiempo de fermentación se obtiene mayor cantidad de concentración de alcohol etílico
- Se utilizó como materia prima los frutos de algarrobo maduro, que fueron aprovechados para la obtención de alcohol etílico que presentaron una concentración de 13.53 °GL con un rendimiento de 682.8 gr de algarrobas

molidas se obtuvieron 0.096 l de alcohol etílico, utilizando como microorganismo productor la levadura *Saccharomyces cerevisiae* haciendo efectiva la conversión.

- En el proceso de fermentación se observó que la conversión de azúcares en alcohol etílico los primeros tres días es más rápida y elevada mientras que los días restantes es mucho más lenta y casi constante porque se considera que es apropiado trabajar en 7 días.
- Los parámetros identificados como óptimos en el proceso de destilación con el uso del equipo de rota vapor, que se tomaron en cuenta fueron el tiempo y la temperatura, se pudo identificar que si se toma un tiempo mayor en dicho proceso obtenemos mayor cantidad de alcohol etílico, pero con concentraciones más bajas expresados en ° GL.
- El parámetro identificado en el proceso de la destilación con el uso del equipo de la columna de destilación, que se toma en cuenta fue la potencia, ya que con la misma se puede definir la temperatura adecuada para el proceso.
- Se determinó que se obtiene mejores resultados en la etapa de la destilación con el equipo de la columna de destilación, obteniendo 22.5 ° GL en el producto final, a diferencia del equipo rota vapor en el que se pudo verificar pérdidas de producto, obteniendo 13.53 ° GL en el producto final.
- El grado alcohólico se determinó con un alcoholímetro proporcionado por el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la carrera de Ingeniería Química a condiciones del ambiente para comprobar los resultados obtenidos se procedió a realizar los análisis fisicoquímicos en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID)

4.2. RECOMENDACIONES

- En caso de los frutos de algarrobo, se recomienda realizar el proceso de secado a una temperatura adecuada para evitar humedad cuando se realice la molienda así también, con el fin de evitar el crecimiento de hongos y bacterias.
- Es recomendable evaluar las condiciones de proceso, pues juegan un rol fundamental en la fermentación como en el destilado, debido a que definen el tiempo de obtención del alcohol etílico, la selección del equipo empleado, es fundamental ya que ejercen una influencia marcada en el rendimiento de las vainas del algarrobo. por consiguiente, será necesario evaluar las condiciones de entrada del agua de refrigeración (temperatura) y la velocidad del flujo del mismo.
- Se recomienda tener cuidado con la activación de la levadura ya que la misma tiene que tener las condiciones adecuadas del sistema por lo cual es necesario mantener una temperatura adecuada y nutrientes para optima conversión.