

## INTRODUCCION

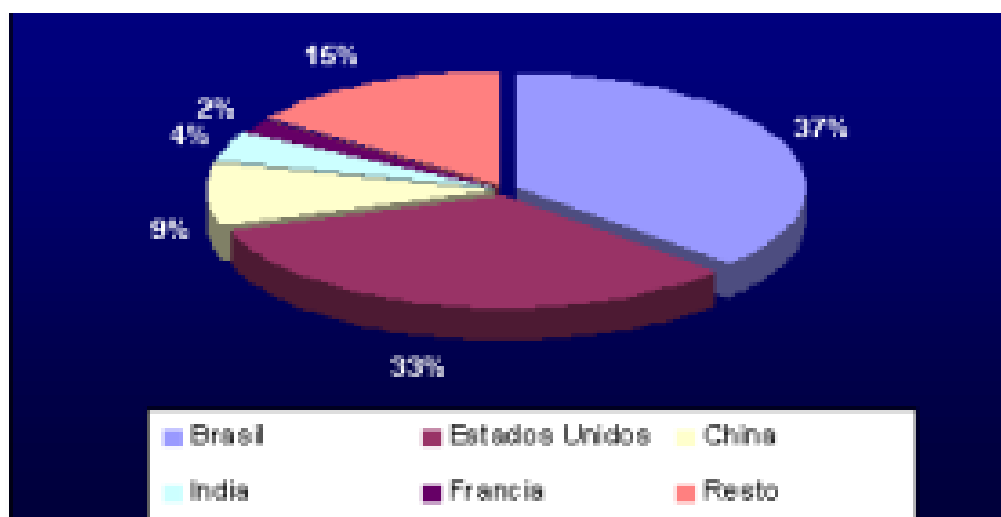
En el presente trabajo se lleva a cabo la descripción del proyecto denominado: ELABORACION EXPERIMENTAL DE AGUARDIENTE DE MAIZ (Zea Mays, variedad Morocho de Tarija) CULTIVADO EN LA PROVINCIA MENDEZ DEL DEPARTAMENTO DE TARIJA.

Este producto pertenece a la industria de los destilados porque como bien se describe en la definición para aguardiente, es una bebida alcohólica destilada de un fermentado alcohólico.

### Antecedentes

El etanol se puede producir partiendo de distintas materias primas (un 61% del total producido a nivel mundial se obtiene de productos azucarados mientras que el 39% restante se produce a partir de diferentes cereales como el sorgo o el maíz). Esta industria encuentra su máximo desarrollo en dos países, Brasil y Estados Unidos quienes, en conjunto, representan un 70.0 % de la producción mundial. En el caso de Brasil, la obtención del etanol parte de la caña de azúcar, en tanto que en Estados Unidos el 90.0 % proviene del maíz.

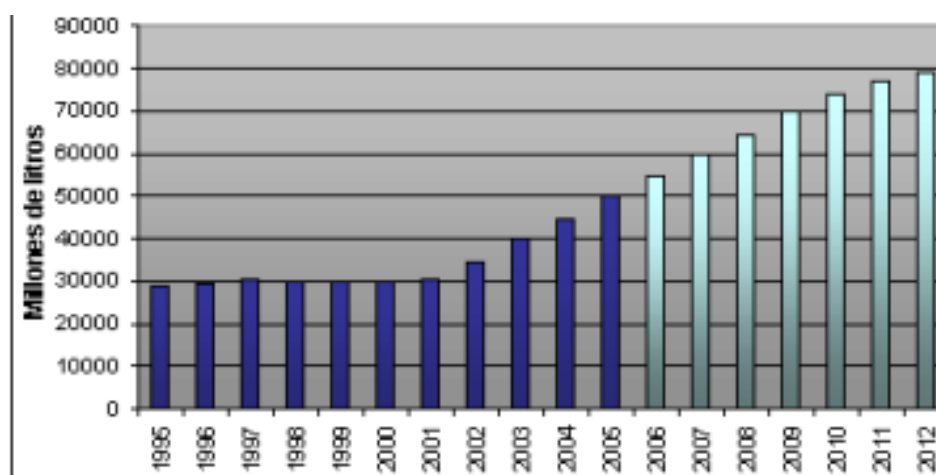
Tabla 1 *Principales países productores de etanol*



Fuente: Ethanol Industry Outlook, 2005.

La producción mundial estimada para 2005 fue de, aproximadamente, 50.000 millones de litros, volumen superior en un 72.6 y 11.2 % al de 1995 y 2004, respectivamente. Es importante destacar que las proyecciones realizadas por World Fuel Ethanol indican que la tendencia al alza presentada en los últimos cuatro años se mantendrá hasta el año 2012 provocando que la producción mundial se incremente un 58.2 % hasta alcanzar los 79.000 millones de litros.

Tabla 2 *Producción mundial de etanol*



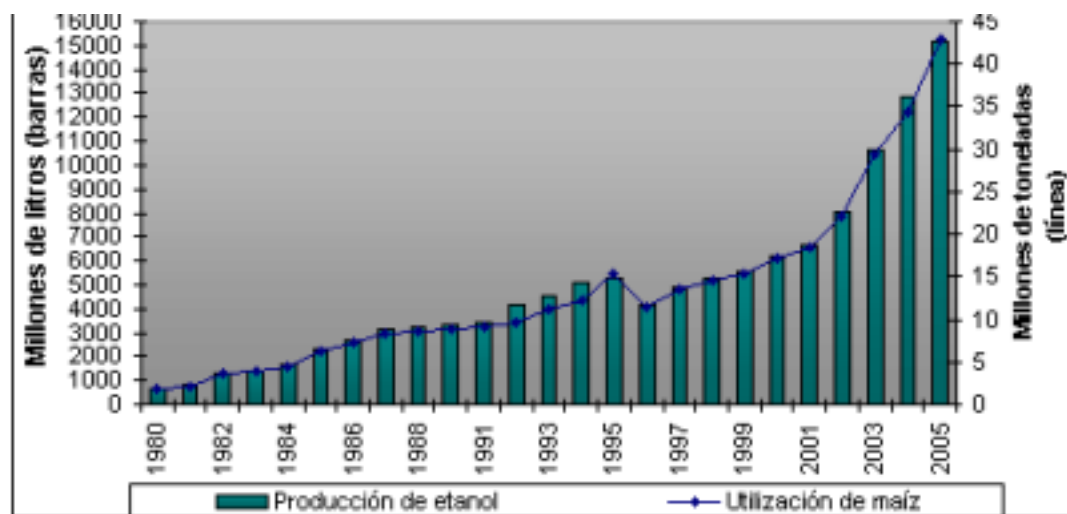
Fuente: World Fuel Ethanol, 2004.

La producción de etanol en Estados Unidos tuvo un significativo desarrollo a partir de 1980, año en el cual se produjeron 660 millones de litros, aproximadamente (un 4.3 % de la producción actual). Actualmente, este país se ubica como el segundo productor mundial (primero en base a maíz) con 15.200 millones de litros elaborados en el año 2005, volumen que supera en un 186.8 y 146.4 % al producido diez y cinco años atrás, respectivamente. Un 90.0 % se elabora en base a maíz que, con una tasa de conversión de 351.9 litros de etanol por tonelada, implica un consumo estimado de 43.2 millones de toneladas, lo que representa un 12.5 % de la producción estadounidense de maíz.

La industria del etanol estadounidense presenta una notable expansión, en la actualidad consta de 92 plantas que se concentran a lo largo de todo el cinturón

maicero (constituido principalmente por los estados de Iowa, Illinois, Minesota y Nebraska) y poseen una capacidad de producción anual que asciende a 16.200 millones de litros. Se espera que la capacidad instalada crezca en 7.949 millones de litros al finalizarse las 34 refinerías que se encuentran en construcción y la expansión de otras 8 plantas que actualmente se encuentran en actividad.

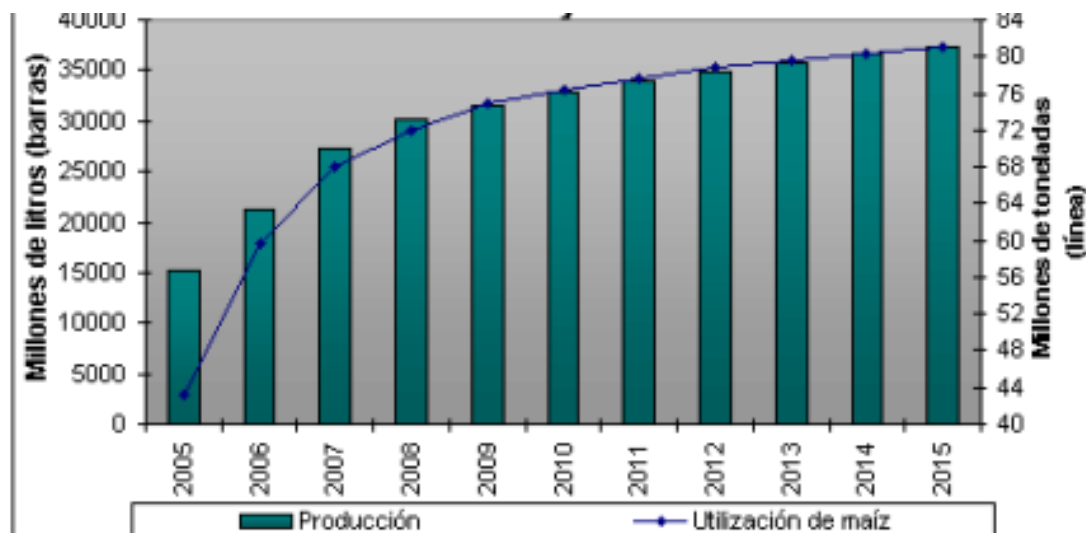
Tabla 3 *Producción de etanol y utilización de maíz desde 1980-2005*



Fuente: U.S. Energy Information Administration/Renowable Fuels Association.

Las proyecciones realizadas por Law and Economics Consulting Group (LECG) indican que esta tendencia se mantendrá en los próximos años. Las estimaciones de esta organización indican que la producción de etanol ascenderá a 32.940 millones de litros en 2010 y 37.300 millones en 2015, siendo un 117.4 y 145.9 % superior a la registrada en 2005, respectivamente. Es importante destacar el importante crecimiento de esta industria en los tres primeros años del período proyectado, siendo responsables del 67.5 % del incremento total de la producción (22.104 millones de litros). (Copello, J. (2007, noviembre)).

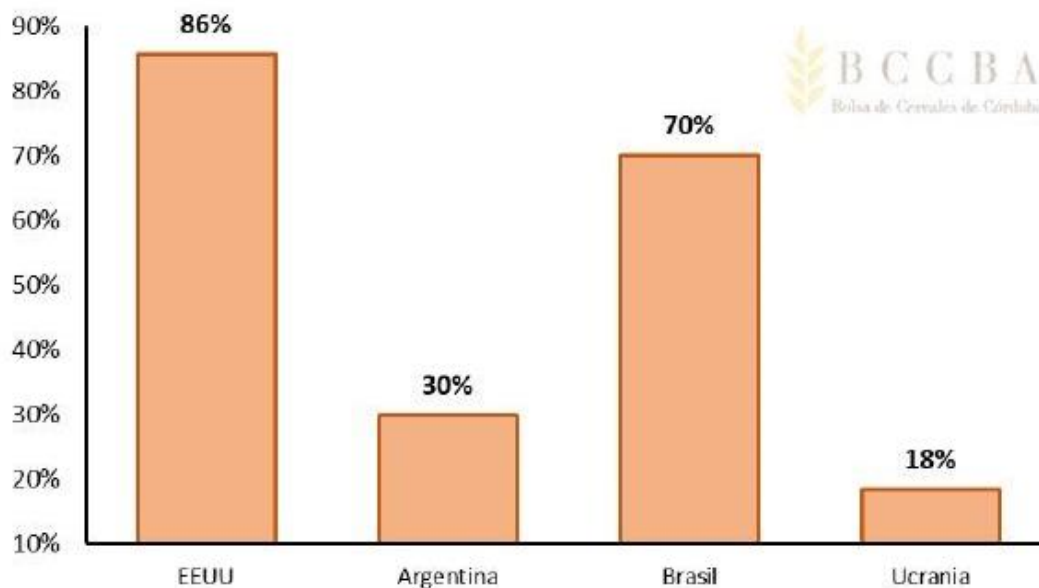
Tabla 4 *Producción de etanol y utilización de maíz desde 2005-2015*



Fuente: LECG.

Dentro de los principales países productores del maíz, Estados Unidos industrializa el 86% de lo cosechado y Brasil el 70%.

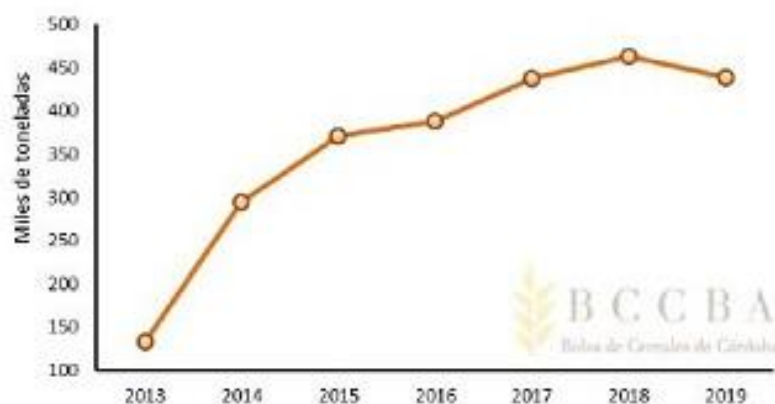
Tabla 5 *Grado de industrialización respecto a la producción*



Fuente: BCCBA y USDA.

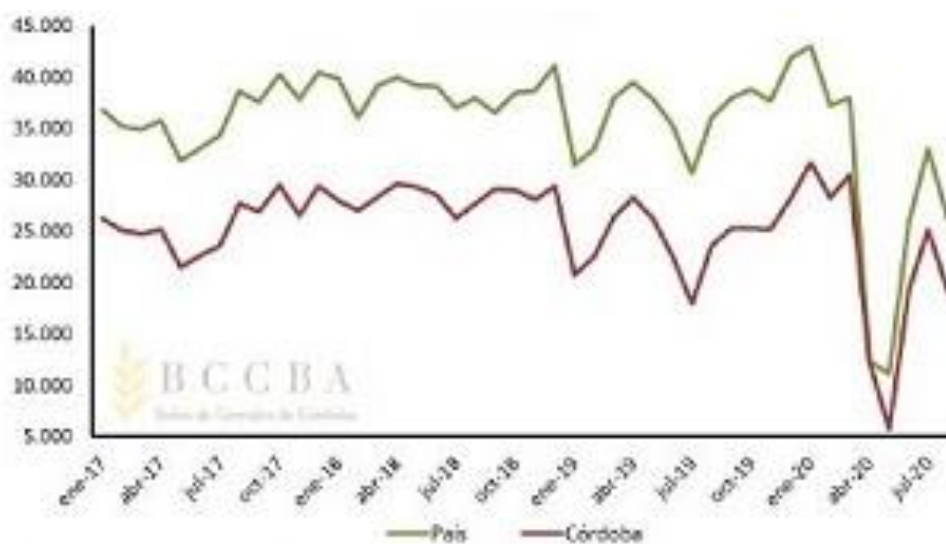
En 2013 la producción de etanol alcanzó las 133 mil toneladas y en los años posteriores se observó un crecimiento anual promedio del 28% llegando a una producción de 438 mil toneladas en 2019. La suma del etanol producido en todo este período equivaldría a transformar y agregar valor a 8 millones de toneladas de maíz, del cual un promedio del 72% provendría de Córdoba. (Agrositio, 2020 Octubre 16).

Tabla 6 *Producción de etanol en base a maíz*



Fuente: BCCBA y MAGyP.

Tabla 7 *Producción mensual de etanol en base a maíz en toneladas*



Fuente: BCCBA y MAGyP.

Tabla 8 *Uso de granos por país para producir etanol. Cifras en millones de toneladas de cereales*

Nación / producto usado	12/13	13/14	14/15	15/16
			(est.)	(f' cast)
<b>Estados Unidos</b>	<b>120,1</b>	<b>131,9</b>	<b>132,7</b>	<b>133,7</b>
Maíz	117,9	130,1	132,3	131,5
Sorgo	2,0	1,6	0,2	2,0
<b>Unión Europea</b>	<b>9,3</b>	<b>10,0</b>	<b>10,3</b>	<b>10,2</b>
Maíz	5,1	5,7	5,8	5,8
Trigo	3,4	3,2	3,4	3,3
<b>China</b>	<b>6,2</b>	<b>6,4</b>	<b>6,7</b>	<b>7,0</b>
Maíz	4,9	5,1	5,3	5,6
<b>Canada</b>	<b>3,3</b>	<b>3,5</b>	<b>3,6</b>	<b>3,7</b>
Maíz	2,7	2,8	2,9	2,9
<b>Argentina</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>
Maíz	0,5	0,8	1,1	1,2
<b>Otros</b>	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>	<b>1,7</b>	<b>1,7</b>
<b>Total Granos</b>	<b>141,0</b>	<b>154,2</b>	<b>156,1</b>	<b>157,5</b>
Maíz	132,1	145,6	148,5	148,1
Trigo	5,5	5,4	5,7	5,7
Sorgo	2,4	2	0,7	2,5
Centeno	0,6	0,9	0,9	0,9
Cebada	0,3	0,3	0,3	0,3

Fuente: Consejo Internacional de Cereales, 2015 Noviembre 19.

Sin dudas, el cereal más utilizado para producir etanol en el mundo es el maíz. En el mundo se utilizan cerca de 148 millones de toneladas anuales de maíz para producir etanol. (Calzada, J., 2015 Noviembre 26).

El etanol es el alcohol producido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa. Dependiendo de su fuente de obtención, su producción implica fundamentalmente molienda, fermentación y destilación de las mismas. Se puede obtener a partir de 3 principales tipos de materias primas, como: Materia rica

en sacarosa (la melaza de caña de azúcar y sorgo dulce), materia rica en almidón (cereales y tubérculos), materia rica en celulosa (madera y residuos agrícolas).

En la actualidad se conocen tres procesos: Molienda en húmedo; donde se remueve la máxima cantidad de almidón del grano siendo este posteriormente fermentado. Molienda en seco; el grano limpio se muele para reducir el tamaño de las partículas y se fermenta. Molienda en seco modificada; se introduce mejoras al proceso para el aprovechamiento del germen y las fibras, que son separadas y el resto del grano se envía a la fermentación, dando mayor valor agregado a los co-productos que la molienda en seco tradicional. (Donato, Natalia, Beltrán, Romina).

El aguardiente forma parte de los licores destilados más famosos del mundo, desde miles de años acompaña la vida de quienes prefieren disfrutar cualquier eventualidad con su sabor. El aguardiente incluso es parte de la cultura gastronómica de algunas naciones que hacen de él todo un elixir y que se mantiene arraigado siendo parte de su idiosincrasia.

El aguardiente es una bebida alcohólica proveniente de la fermentación de una materia prima, cuyos sabores y aromas son originados gracias a la destilación, además proviene de multitud de ingredientes ricos en sacarosa, un elemento esencial dentro de su elaboración.

El aguardiente es una bebida alcohólica destilada de un fermentado alcohólico. Existe gran variedad de sustancias orgánicas agrícolas cuya pasta o zumo fermentado es usado para su extracción, incluyendo frutas, cereales, hortalizas y granos. Los aguardientes provienen de multitud de plantas ricas en sacarosa, que es el elemento esencial en la elaboración de la bebida (ya que a partir de esta surge el etanol), siendo en principio el aguardiente alcohol diluido en agua. Toma así el aguardiente su nombre de «Aqua» y «Ardiente» del latín «Ardens», lexema «Ardie», refiriéndose a su baja inflamabilidad, aunque también se dice que el nombre se debe a la sensación propia de la sustancia líquida alcohólica al ser ingerida. "Aguardiente" puede referirse prácticamente a cualquier bebida alcohólica obtenida por destilación, pero el nombre

se aplica mayoritariamente a aquellas que poseen entre 30% y 59% de grado o volumen de alcohol.

Desde la antigüedad se conoce el arte de la destilación, y es que se utilizaba para la elaboración de perfumes, se dice que fue llevado de la mano de los árabes a toda Europa, y es que todo parece indicar que fueron ellos los responsables de su difusión.

El origen del aguardiente en Europa se desarrolla en Italia durante el siglo XIII, cuando un grupo de científicos buscando un elixir que asegurase la vida eterna determinaron que este podría extraerse del vino.

Esto dio paso a la destilación, lo cual dio origen a su vez al agua de la vida, y a medida que el arte de la destilación se propagaba por toda Europa Medieval, el agua de la vida se iba posicionando dentro de cada país.

Para muchos esta bebida rica en alcohol fungía como medicina para curar diversas patologías, y es que era considerado por muchos un líquido sanador por excelencia, por lo que desde siempre se ha destacado gracias a sus propiedades naturales.

Poco a poco el influjo de este licor fue propagándose por el mundo y absorbiendo diferentes culturas, las cuales iban imprimiendo en él sus propias características.

En Europa -y en todo el mundo- el alcohol destilado apareció pisando fuerte, junto a una gran variedad de sabores, colores y aromas, propiedades que dependen del tipo de destilación, además de la materia prima y de los aditivos empleados. Asimismo, otro factor muy influyente es la cultura. El aguardiente que consumimos también depende del lugar de elaboración, de las costumbres y gustos de su gente, dando lugar a un alcohol diferente tanto en denominación como en características.

Actualmente, en cuanto a destilación se refiere, una de las grandes ventajas es que los avances han permitido seleccionar mejor las sustancias que se desean separar, consiguiendo un alcohol más limpio y de mejor calidad.



Esta bebida es un destilado que se caracteriza por presentar dos categorías diferenciales las cuáles le otorgan características determinadas, así pues, podemos encontrar: Aguardiente Simple y Aguardiente Compuesto.

#### Aguardiente Simple

El simple es aquel que no tiene adición de sabores diferentes a los propios del aguardiente, es decir, es el que sale directo del alambique, sin más y sin menos.

Dentro de los principales aguardientes simples que existen podemos mencionar los siguientes:

- Ron.
- Brandy.
- Whisky.
- Tequila.

Así mismo destacan aguardientes de frutas, así como los obtenidos de savias de palmera o de arroz.

#### Aguardiente Compuesto

El compuesto recibe una importante adición de sabores provenientes de sustancias que no generan alcohol, como hierbas, semillas de anís, especias, entre otras.

Dentro de los principales licores compuestos que existen podemos mencionar los siguientes:

- Anís.
- Benedictine.
- Strega.
- Absenta.

Los tipos de este tipo de bebida alcohólica han derivado en una clasificación que engloba los principales aguardientes que se elaboran el mundo, esta clasificación los agrupa de la siguiente manera:

- Aguardientes de vino: Brandy, cognac, armagnac y pisco.
- Aguardientes de uva: Orujos, marcs y grappas.
- Aguardientes anisados: Anís.
- Aguardientes de sidra: Calvados, sidra española, applejack.
- Aguardientes de tubérculos y cereales: Akuavit, ginebra, vodka, whisky, sake.
- Aguardientes de cañas de azúcar y sus residuos: Ron y cachaça.
- Aguardientes de agave: Tequila y mezcal.
- Aguardientes de frutas: Pera, manzana, ciruela, entre otras.

El maíz es un cereal con el que se elabora también aguardiente, y es que durante los últimos años son muchos los licores que surgen con ellos y que poco a poco han ido cobrando fuerza gracias a su calidad y demanda.

Este licor derivado del maíz suele presentar un color ámbar, aroma y sabor acorde al cereal utilizado pero sin ser invasivo, sino más bien, agradable y con carácter.

*Figura 1 Aguardiente de Maíz*



Fuente: Aygsha, 2020 Marzo 12.

Dentro de sus principales exponentes hoy en día podemos encontrar whiskys que se elaboran con este cereal revolucionando lo establecido.

Gracias a los cereales se han podido crear recetas de aguardientes que lejos de parecer que no cumplen con los estándares de calidad requeridos, pues dejan con la boca

abierta a todos, este es el caso del aguardiente de maíz que goza del agrado de los entendidos en la materia.

Para elaborar licor de maíz se suele germinar el cereal ligeramente, lo que es comúnmente conocido como malteado. Una vez efectuado este paso se coloca en un recipiente y se pisa para ayudar a calentar las enzimas de la malta y convertir el almidón natural en azúcar.

Una vez realizado el primer paso, se agrega la levadura y se deja fermentar por al menos 15 días, generando así una fermentación adecuada que es la clave de este licor, y una vez transcurrido el tiempo indicado se procede a destilar a través de un alambique preferiblemente de cobre.

Hay quienes lo destilan dos veces para darle mayor pureza al aguardiente de maíz y optimizar sus cualidades organolépticas, además que suele originar un licor con alto contenido alcohólico, por lo que nivelarlo es muy recomendable.

Al terminar el proceso de destilación y tener un aguardiente de maíz estable se procede a su embotellado, y es aquí cuando el productor decide si le da un añejamiento en barricas de roble que por supuesto potenciará su sabor.

Esta bebida alcohólica a base de maíz en la actualidad forma parte del diverso mundo de la mixología, y es que suele combinarse con otros licores para la realización de diferentes recetas de cócteles que día tras día se abren paso alrededor del mundo. (A., 2020 Marzo 12 y encopadebalon.com, 2020 Noviembre 12).

En cuanto a la elaboración y producción de aguardiente de maíz se tiene a continuación:

Tabla 9 *Productores a nivel mundial de Aguardiente de Maíz*

<b>Lugar</b>	<b>Hay o no hay</b>	<b>Dónde</b>
Norteamérica	Si hay	México
Europa	No hay	-
Asia	No hay	-
Latinoamérica	No hay	-
Bolivia	No hay	-

Fuente: Elaboración propia, 2022.

En cuanto a alcohol, en la década de los 30, antes que comience la Guerra del Chaco, en La Paz se producía alcohol “Yurakcaballo” y era de maíz. A partir de los 50 se da luz verde al Ingenio de Guabirá.

### **Maíz en Bolivia**

La producción de maíz en Bolivia por año en toneladas métricas se muestra a continuación:

Tabla 10 *Producción de maíz en Bolivia por año en toneladas métricas*

<b>DESCRIPCIÓN</b>	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017
<b>CEREALES</b>	2,273,071	2,449,392	2,934,920	2,660,809	2,321,408
Arroz con cáscara	476,516	484,057	527,341	406,954	472,238
Avena	23,709	28,996	27,393	24,684	21,021
Cañahua	714	771	756	774	780
Cebada en grano	44,920	44,798	51,405	45,996	45,483
Centeno	231	274	318	269	269
<b>Maíz en grano</b>	<b>951,324</b>	<b>1,006,622</b>	<b>1,056,557</b>	<b>984,628</b>	<b>1,004,181</b>
Quinua	64,240	67,711	75,449	65,548	66,792
Sorgo en grano	525,395	656,494	858,101	802,518	556,352
Trigo	186,023	159,670	337,599	329,437	154,293

Fuente: Instituto Nacional de Estadística - INE, 2019.

Según el INIAF (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal) para el año 2018 se reportó una producción de 3 200 toneladas de semillas certificadas de maíz por año en el departamento de Tarija. (Elpais.bo, 2018).

Tabla 11 *Producción de maíz en Tarija en toneladas para el año 2018*

<b>MAÍZ</b>	<b>Producción (toneladas)</b>
	3 200

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Las variedades criollas de maíz que existen en la región tarijeña alcanzan a 25, por ejemplo se tiene el romano, culli, overo, pullita blanco y amarillo, el morocho, bicha sara, además de las liberadas por el INIAF como el H1 y el HQ2, sin embargo, en el departamento solo se cultivan unas 12.

Según el titular de la entidad, Luis Acosta, lo que más utilizan los agricultores son los maíces criollos, pero gran parte de ellos ya empezaron a utilizar nuevas variedades híbridas generadas por la entidad. Desde el año 2017 se emitieron cuatro nuevos tipos, dos de ellos son de característica dura y sirven para alimentar animales como pollo, cerdos y vacunos, son las ya mencionadas Iniaf H1 e Iniaf HQ2, este último destaca por la cantidad de proteínas que tiene y están en todo el valle central de Tarija y en la zona del Chaco.

Las otras dos variedades que son usados para hacer humintas son el Iniaf choclero amarillo y el Iniaf choclero blanco. Éstas ya se siembran en todo el departamento y empezaron en las comunidades de El Rancho, Charaja, Chaguaya y Entre Ríos.

Por su parte, el productor José Lino Jaramillo, apuntó que el maíz se siembra en todo el valle central de Tarija que comprende las provincias Cercado, Méndez Avilés, Padcaya, incluso O'Connor y en algunas zonas del Chaco. Calculó que son cultivadas unas 12 variedades de las más rentables. En un buen año, si no se ha sufrido

inclemencias naturales como las heladas, granizadas o sequías se puede obtener hasta 80 quintales por ha. (El País, 2019 Noviembre 20).

El maíz es ingrediente fundamental de la comida tradicional boliviana, estando presente en muchos platos típicos, entre los cuales destacan:

- *api* (bebida caliente tomada en el desayuno): *Kulli*.
- *chaque y agua* (sopa): *Uchuquilla, Perla, Morocho, Kellu*.
- *huminta* (granos lechosos triturados, condimentados y cocidos envueltos en sus brácteas): *Hualtaco*.
- *mote* (granos enteros, secos, cocidos): *Hualtaco, Kellu*.
- *choclo* (granos hervidos en sus brácteas): Harinoso del valle (*Hualtaco, etc.*).
- *tostado* (palomitas de maíz o popcorn, maíz dulce, maíz harinoso): *Chuspillo, Checchi*.
- *chicha* (bebida alcohólica): *Huillcaparu, Kellu, Chispillo, Morocho, Kulli*.
- *confituras* (granos reventados con el calor, rociados con miel): *Pisanckalla*.

(Cipca.org.bo, 2012 Diciembre).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Elaborar experimentalmente Aguardiente de Maíz (*Zea Mays, variedad Morocho de Tarija*) cultivado en la provincia Méndez del departamento de Tarija en una torre de destilación discontinua o batch.

### **Objetivos Específicos**

- Elaborar el Marco Teórico para la elaboración de aguardiente de maíz.
- Caracterizar la materia prima: maíz (*Zea Mayz, variedad Morocho de Tarija*) para la elaboración de aguardiente.
- Seleccionar el proceso tecnológico e industrial experimental de aguardiente de maíz.

- Diseñar y ejecutar la fase experimental para el proceso tecnológico de aguardiente de maíz.
- Caracterizar el tipo y calidad del producto obtenido: aguardiente de maíz cultivado en la provincia Méndez del departamento de Tarija.
- Determinar el rendimiento del proceso de aguardiente de maíz obtenido.
- Presentar y analizar los resultados obtenidos del proceso de elaboración de aguardiente de maíz.

## **JUSTIFICACION**

### **Justificación Económica**

En este proyecto se elabora Aguardiente de Maíz con la finalidad de poder contribuir al área de turismo de modo que se produzca una bebida hecha de maíz por ser una zona tradicionalmente productora de maíz y puede entrar en la cadena de vinos y singanis como una alternativa más de bebida alcohólica.

### **Justificación Tecnológica**

La bebida que se hace tradicionalmente es la chicha y se incorpora la tecnología de destilación y rectificación para obtener productos puros la cual permite producir aguardiente de maíz y a partir de él, licores regionales como las mistelas.

### **Justificación Social**

Los productores de maíz tendrán un mercado del producto alternativo que mejore sus ingresos y alto impacto social. De igual manera, se dará la opción al sector turismo con dicho aguardiente y a toda aquella persona que quiere degustar de una bebida diferente hecha de maíz.

### **Justificación Ambiental**

Durante la elaboración del Aguardiente de Maíz, la contaminación que genera, no tiene un impacto considerable pues no se contamina el medio ambiente. Los gases y vapores que se producen van al aire no son significativos sin producir impactos

negativos, pero es necesario considerar la Ley 1333, en sus normativas específicas, esta actividad productiva no tiene consecuencias permanentes.

### **Justificación Personal**

Dentro de mis proyecciones personales, es cumplir con la currícula de Ingeniería Química y por ende titularme a nivel licenciatura. Además, que los procesos desarrollados, me permite aplicar los distintos temas de la carrera y desarrollar/concluir con la materia de proyecto de grado. El lograr elaborar y producir un producto nuevo a nivel nacional es una gran motivación que tendrá buenos resultados para poder emprender en un futuro.



**CAPITULO I**

**MARCO**

**TEORICO**

## 1.1 Características de la materia prima

### 1.1.1 Definición

El maíz es uno de los cereales más abundantes y populares en el mundo, y asimismo, de los más consumidos. De color amarillo pero también disponible en diferentes tonos de rojos, marrones y naranjas, el maíz es actualmente la base de muchas gastronomías, especialmente las de América Latina de donde la planta es originaria, aunque también se la cultiva en Europa.

El maíz o *Zea Mays* de acuerdo a su nombre científico, es una planta gramínea, lo cual significa que tiene un tallo cilíndrico y hojas largas y gruesas, su altura oscila entre el metro y los tres de alto. El maíz también puede ser conocido popularmente como choclo (que sería específicamente el fruto de la planta) u elote dependiendo de la región de América Latina (en Centroamérica, excepto Panamá, y en México se le llama de esta manera). (Bembibre, C., 2010 Mayo).

*Figura 1-1 Maíz (Zea Mays)*



Fuente: Conceptodefinicion.de, 2016.

### 1.1.2 Composición química de las partes del grano

Como se muestra en el cuadro a continuación, las partes principales del grano de maíz difieren considerablemente en su composición química. La cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, aproximadamente el 87%, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67%), celulosa (23%) y lignina (0,1%) según Burga y Duensing, 1989. El endospermo, en

cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87%), aproximadamente 8% de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo.

Tabla I-1 *Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (%)*

<b>Componente químico</b>	<b>Pericarpio</b>	<b>Endospermo</b>	<b>Germen</b>
Proteínas	3.7	8.0	18.4
Extracto etéreo	1.0	0.8	33.2
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8
Cenizas	0.8	0.3	10.5
Almidón	7.3	87.6	8.3
Azúcar	0.34	0.62	10.8

Fuente: Fao.org.

Por último, el germen se caracteriza por un elevado contenido de grasas crudas, el 33% por término medio, y contiene también un nivel relativamente elevado de proteínas (próximo al 20%) y minerales. El contenido de hidratos de carbono y proteínas de los granos de maíz depende en medida considerable del endospermo; el de grasas crudas y, en menor medida, proteínas y minerales, del germen. La fibra cruda del grano se encuentra fundamentalmente en la cubierta seminal. La distribución ponderal de las partes del grano, su composición química concreta y su valor nutritivo tienen gran importancia cuando se procesa el maíz para consumo; a este respecto, hay dos cuestiones de importancia desde la perspectiva nutricional: el contenido de ácidos grasos y el de proteínas. (Fao.org).

### 1.1.3 Tipos

Existen diferentes tipos de maíz, algunos de ellos son:

- **Maíz dulce:** este tipo de maíz es cultivado para ser consumido cuando aún las mazorcas se encuentren verdes. Se le llama dulce porque sus granos contienen azúcar en elevadas proporciones, lo que le otorga ese toque dulce.
- **Maíz reventón:** esta clase de maíz tiene la particularidad de ser excesivamente duro, esto se debe al almidón que lo compone que se encuentra en pocas cantidades. Cuando estos granos son expuestos a elevadas temperaturas, revientan, dejando salir el endospermo.
- **Maíz duro:** es aquel que se caracteriza por sus granos redondos y duros. Se utiliza principalmente para la elaboración de fécula de maíz. Su producción es destinada en su mayoría para el consumo humano y el resto es empleado para alimentar a los animales.
- **Maíz dentado:** es aquel que más se utiliza, a pesar de ser un maíz propenso a toda clase de insectos y hongos, además de que se seca muy rápido. Este tipo de maíz resulta de mayor rendimiento, los granos de tonos amarillos son asignados como alimento para los animales, mientras que los de color blanco, son para el consumo humano.
- **Maíz harinoso:** es muy popular en México, es un maíz con un almidón muy blando, sus granos presentan diferentes colores y texturas. Es utilizado de manera exclusiva para el consumo humano. (Conceptodefinicion.de, 2016).

*Figura 1-2 Tipos, variedades de maíz (Zea Mays)*



Fuente: Curiosfera.com, 2016.

#### **1.1.4 Origen**

El maíz es originado de Norteamérica y Sudamérica que son usados para realizar diferentes platos y comidas.

Se cree que alrededor del 2 500 a.C. comenzó la expansión de los cultivos a través de gran parte de América. La región desarrolló una red de comercio basado en los excedentes y las variedades de cultivos de maíz. Después del contacto europeo con América, a finales del siglo XV y principios del siglo XVI, los exploradores y comerciantes llevaron maíz en su regreso a Europa y así fue introducido a otros países de todo el mundo.

El maíz se extendió al resto del mundo, debido a su capacidad de crecer en climas diversos. Las variedades ricas en azúcar, llamadas *maíz dulce*, se cultivan generalmente para el consumo humano como granos, mientras que las variedades de maíz de campo se utilizan para la alimentación animal, la elaboración de derivados para alimentación humana (harina, masa, aceite y, mediante fermentación, bebidas alcohólicas como el whisky bourbon) y la obtención de productos químicos como el almidón.

### **1.1.5 Fisiología**

Es una planta de noches largas y florece con un cierto número de días grados  $> 10^{\circ}\text{C}$  ( $50^{\circ}\text{F}$ ) en el ambiente al cual se adaptó. Esa magnitud de la influencia de las noches largas hace que el número de días que deben pasar antes que florezca, está genéticamente prescrito y regulado por el sistema-fitocromo.

La fotoperiodicidad puede ser excéntrica en cultivares tropicales, mientras que los días largos (noches cortas) propios de altas latitudes, permiten a las plantas crecer tanto en altura que no tienen suficiente tiempo para producir semillas antes de ser aniquiladas por heladas. Esos atributos, sin embargo, pueden ser muy útiles para usar maíces tropicales en biocarburantes.

### **1.1.6 Cultivo**

Actualmente el maíz es sembrado en todos los países de América Latina. Este constituye, con el frijol, calabaza y chile, un alimento fundamental en toda América. La productividad del maíz latinoamericano es, sin embargo, bastante inferior a la de los Estados Unidos, lo cual está fundamentado en las características ecológicas y sobre todo, climáticas, que diferencian las dos zonas de producción. El maíz es un cereal de muy rápido crecimiento pero que necesita una provisión abundante de insolación. También en los países europeos se cultiva una gran cantidad de maíz con fines alimenticios para el ganado estabulado.

El maíz es un cultivo estival que se siembra en ambos hemisferios. En el Hemisferio Sur la ventana de siembra va desde septiembre hasta enero y se cosecha entre marzo y agosto, esto depende del periodo de lluvias y el momento en que comienzan las heladas, de cada región. En el Hemisferio Norte se siembra en abril, mayo y se cosecha en septiembre u octubre.

### **1.1.7 Valor nutricional y beneficios**

Tierno, este cereal es muy energético y nutritivo debido a los hidratos de carbono y a las proteínas que proporciona e influye positivamente sobre nuestro estado de ánimo,

concentración, memoria y sueño gracias a sus excelentes aportes de vitamina B1 (es uno de los alimentos más ricos), B3 y ácido fólico.

Aporta el 16% de carbohidratos frente al 67% de los granos secos y es fácil de digerir.

El maíz tierno conserva la vitamina C: una ración de 100 g puede llegar a procurar más del 10% de la que se precisa al día. Tiene un 3% de proteínas, frente al 9% del grano seco y es el único cereal que aporta provitamina A. También proporciona la antioxidante vitamina E.

En cuanto a los minerales, el maíz proporciona abundante fósforo, magnesio y cinc, así como algo de hierro y manganeso.

La composición nutricional del maíz justifica los efectos positivos que se le atribuyen sobre el organismo:

Aliado del cerebro, obtención de energía, mejor funcionamiento de la memoria, la concentración y el buen estado de ánimo y es muy indicada para momentos en los que se realizan grandes esfuerzos intelectuales, muy útil en periodos de estrés, ya que favorece el buen funcionamiento de las glándulas adrenales, facilitando además el sueño. En las dietas antiinflamatorias sin gluten pues la harina de maíz resulta una fuente primordial para las personas con problemas digestivos y para los intolerantes y sensibles al gluten. Con esta harina se pueden elaborar pastas, panes, galletas y otras preparaciones. Previene los trastornos cardiovasculares. (Cuerpamente.com, 2019).

La vitamina A que contiene el maíz, ayuda en el buen funcionamiento de la vista y la juventud de la piel, también se le reconoce ser una fuente importantísima de antioxidantes, previniendo la producción de radicales libres, principales productores de las enfermedades cancerígenas. Muchos compuestos del maíz fueron usados oportunamente para combatir tumores.

Otros aportes fundamentales que tiene su composición son las proteínas y la fibra con lo cual protege y favorece el buen funcionamiento de nuestro aparato digestivo y reduce los niveles de colesterol y glucosa en nuestro organismo.

Así como ayuda a prevenir y a combatir el cáncer de diversas índoles, también es muy bueno para reducir los niveles de hipertensión arterial y para reducir los efectos de la diabetes. (Bembibre, C., 2010 Mayo).

El maíz es un alimento muy completo, que contiene muchas vitaminas, minerales y diversas propiedades que favorecen nuestro metabolismo, por ello, la OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda su consumo.

### **1.1.8 Acondicionamiento**

El acondicionamiento se refiere a las condiciones en las que debe estar el maíz para que el almidón que contiene se convierta en azúcares fermentables y esto es conocido también como la etapa de malteado acompañado de la etapa de macerado o maceración. Luego dichos azúcares serán absorbidos por la levadura en la etapa de fermentación.

En la germinación es muy importante la temperatura del agua, humedad y el tiempo en que germinan los granos, pues dichas variables le darán o no el acondicionamiento necesario al maíz.

El almidón es un carbohidrato de reserva, sintetizado y almacenado como fuente de energía en plantas superiores; además después de la celulosa, es el segundo carbohidrato más abundante en la biosfera. Aunque el contenido de almidón varía según la fuente de obtención, la más importante son los cereales (maíz, arroz, trigo) con un contenido aproximado de 30 a 80%, en leguminosas (frijol, chícharo, haba) un 25 a 50% y en tubérculos (papa, tapioca, yuca) representan un 60 a 90% de la materia seca. De la producción mundial del almidón, aproximadamente el 83% es obtenido del maíz; después es el trigo con un 7%, papa con un 6% y tapioca con el 4%.

La degradación enzimática del almidón se da por el desdoblamiento total en forma de glucosa mediante el efecto energético de ácidos nucleicos, lo cual permitirá que la levadura trabaje de manera natural, sin necesidad de agregar factores externos, la germinación permitirá que los granos se rompan para liberar el germen, esto servirá para que los granos de maíz pasen por una molienda para separar la fibra y haya una



liberación de almidón y la levadura pueda actuar. El almidón del maíz puede convertirse en alcohol combustible por fermentación. El almidón es degradado hasta su desaparición hasta tener únicamente el azúcar o glucosa que es el sustrato para la fermentación. (Valdiviezo Gurría, R. I. y Morales Tovilla, M. E., 2016 Mayo).

Los cereales son en gran parte no fermentables en su forma natural por lo que deben ser convertidos en un sustrato fermentable. Esto implica romper los componentes estructurales del grano para liberar almidón, después el almidón es convertido enzimáticamente a azúcar. Existen dos maneras de que esto se pueda lograr. El primero es maltear el cereal, un proceso de germinación controlado y el desarrollo enzimático. El malteado es seguido por el macerado, donde se agrega agua caliente a la malta para gelatinizar el almidón y mejorar la susceptibilidad a la degradación enzimática. Una alternativa al malteado y a la maceración es cocinar el cereal antes de la adición de una pequeña cantidad de malta o enzimas comerciales para proporcionar la ruptura requerida.

El malteado se realiza a bajas temperaturas alrededor de 16°C (289.15°K) para no inhibir la acción enzimática. Los granos se hacen germinar por inmersión en agua hasta que alcanzan más de 40% de humedad; una vez finalizada la germinación esta es detenida por medio de secado en horno con aire caliente. Durante el malteado, todas las enzimas necesarias para una degradación total del almidón son sintetizadas y/o activadas juntas todas las enzimas que contribuyen a la hidrólisis de  $\beta$ -glucanos y en menor medida de arabinoxilanos. También se desarrollan otras enzimas, como proteasas que rompen las proteínas del grano en moléculas que pueden ser utilizadas por la levadura. Las actividades biológicas son detenidas por un calentamiento gradual del grano.

El proceso de malteado consta de tres etapas: remojo, germinación y secado.

Para el remojo, el objetivo básico de este proceso es el incrementar el contenido de humedad del grano mientras se mantiene la viabilidad de la semilla. Esto es necesario para la germinación del grano y la difusión uniforme de las enzimas en el

endospermo. El contenido de humedad es elevado a más de 40%. Esta operación se realiza en recipientes cónicos o en tanque de fondo plano. Los granos son inicialmente sumergidos en agua y se mantienen a una temperatura de 14 a 18°C (287.15-291.15°K) por un tiempo de 6 a 8 horas. Durante este paso se remueve la suciedad, los granos flotantes y algunos compuestos indeseables. La duración de cada etapa y el total de remojo dependen del grano utilizado.

La germinación se realiza para modificar las reservas del endospermo, especialmente el almidón. Durante este proceso las enzimas amilolíticas y proteolíticas comienzan a activarse y rompen las moléculas complejas para liberar moléculas simples. La enzima  $\alpha$ -amilasa es una endoenzima y no existe en semillas no germinadas. Esta enzima actúa sobre las dextrinas de enlace glucosídico  $\alpha$ -1,4, con más de 12 moléculas de glucosa. La enzima  $\beta$ -amilasa es una exoenzima que rompe moléculas de maltosa de los extremos de las cadenas  $\alpha$ -1,4. Esta enzima está presente en semillas no germinadas en estado latente. Las paredes celulares en el endospermo también se desintegran durante este proceso. El giro de los granos es esencial para separar las raíces que crecen de manera que el flujo de aire a través del lecho sea uniforme. La temperatura se mantiene entre 16 y 18°C (289.15-291.15°K) para reducir al mínimo las pérdidas respiratorias ya que puede llevar a un decremento en el rendimiento de la malta. El periodo de germinación varía de 3 a 7 días dependiendo del tipo de grano y de la variedad usada.

La temperatura es uno de los factores importantes en la germinación pues a altas temperaturas por encima de los 30°C (303.15°K) se acelera el proceso de germinación pero decrece la actividad de las enzimas beta-glucanasa y proteasas.

El objetivo principal de la etapa de secado es secar los granos germinados hasta un contenido de humedad de 4-5% y lograr el desarrollo de colores y sabores de la malta. El secado normalmente se realiza en horno durante 16 a 40 horas con incremento gradual de temperatura de 45 a 80°C (318.15-353.15°K) para preservar las actividades enzimáticas. Durante el proceso de secado, la temperatura de los granos es generalmente más baja que la temperatura del aire de calentamiento debido

a la pérdida de humedad de los granos. Después del proceso de secado, los granos son enfriados y las raíces son removidas.

La malta, de acuerdo con su contenido de humedad, puede ser clasificada como malta verde cuando no ha sido secada o malta seca cuando esta ha sido sometida a un proceso de secado hasta haber alcanzado aproximadamente el 5% de humedad. La malta verde debe ser utilizada inmediatamente ya que no puede ser conservada. El secado tiene la finalidad de detener la actividad biológica cuando con la germinación de la semilla se ha alcanzado el nivel deseado de enzimas y se ha sufrido las modificaciones deseadas. Secar durante más tiempo tiene un efecto esterilizante y es más fácil eliminar los brotes de la raíz.

Luego del malteado, le sigue el proceso de maceración.

La maceración es un proceso clave para la producción de bebidas alcohólicas en donde se forma un extracto fermentable. Durante la maceración se lleva a cabo la degradación enzimática de los polisacáridos presentes en la malta. Se pueden seguir dos rutas principales dependiendo si se utiliza cereal malteado o no malteado. Cuando se utiliza cereal malteado, el proceso es esencialmente similar al de producción del mosto de cerveza, requiriéndose un extracto claro o filtrado para evitar la quema en los alambiques. Cuando se utiliza cereal no malteado, en procesos modernos continuos, comúnmente se lleva a cabo la fermentación con el total de los sólidos del grano.

En procesos por lotes, la etapa inicial es un molido del grano. El objetivo de la molienda es obtener la extracción máxima de azúcares fermentables. Una inadecuada molienda puede causar una reducción en el rendimiento debido a la falta de la disponibilidad del almidón. Una molienda demasiado gruesa provocará la pérdida de extracto y una molienda demasiado fina, problemas en la filtración.

La reacción más importante en el proceso de maceración es la hidrólisis enzimática del almidón gelatinizado, esta gelatinización es favorecida por la destrucción de la estructura del grano ya que las moléculas del almidón están ubicadas en estructuras

granulares que son susceptibles a la ruptura cuando son expuestas a ambientes acuosos en temperaturas elevadas. La geometría de los gránulos varía dependiendo la variedad de los granos al igual que las temperaturas de gelatinización, pero en todos los casos, el tratamiento térmico provoca la hinchazón del gránulo a medida que el agua entra en la estructura, la ruptura provoca la liberación del almidón en el ambiente acuoso haciendo accesible la actividad de las enzimas hidrolíticas. La hidrólisis enzimática del almidón determina la cantidad producida de carbohidratos fermentables y, por lo tanto, el contenido alcohólico del producto final. Un objetivo natural del proceso de maceración es maximizar la producción de material fermentable. Transformaciones importantes ocurren en el macerado, el almidón es convertido en maltosa y dextrinas.

Diferentes enzimas catalizan todas las reacciones involucradas. Puesto que la actividad de las enzimas depende de la temperatura, la manipulación de esta variable se utiliza como mecanismo de control de la actividad enzimática durante el proceso de maceración. Cuando la temperatura aumenta, las velocidades de reacción aumentan abruptamente, pero las enzimas son desnaturalizadas más rápido.

El proceso de gelatinización aumenta la viscosidad de la solución, pero la actividad de la  $\alpha$ -amilasa de la preparación provoca hidrólisis parcial del almidón, que licúa la muestra. (Rodríguez Espinoza, J. C., 2018 Julio).

El macerado consiste en mezclar los cereales malteados con agua caliente (74°C, 347.15°K) para obtener una papilla caliente (65°C, 338.15°K).

Para poder preparar agua caliente a 74-78°C (347.15-351.15°K) en cantidad suficiente para preparar la papilla del macerador, hemos de calcular mínimo 3 litros por cada Kg de cereal o maltas de la receta.

Añadir en el macerador el agua caliente y el grano molido de forma simultanea y removiendo con la cuchara. Hay que evitar la formación de grumos. La papilla ha de tener un aspecto fluido pero no ha de evidenciar exceso de agua (una vez preparada,

al dejarla reposar en el macerador, el nivel de agua prácticamente no es superior al del grano sedimentado) y su temperatura ha de ser 65°C.

Después de 2 horas macerado, con el recipiente tapado para minimizar pérdidas de calor, la papilla se habrá vuelto dulce (sacarificación). Podemos comprobar la total conversión del almidón en azúcar mediante la prueba de tintura de yodo: una muestra de líquido de la papilla con unas gotas de yodo. a) Color negro en forma de partículas = existe almidón en el medio. b) Color yodo = conversión total. (Cervezas.info, 2019).

## **1.2 Levadura**

### **1.2.1 *Saccharomyces cerevisiae***

La *Saccharomyces cerevisiae* o levadura de cerveza, es una especie de hongo unicelular que pertenece al filo Ascomycota, a la clase Hemiascomycete y al orden Saccharomycetales. Se caracteriza por su amplia distribución de hábitats, como hojas, flores, suelo y agua. Su nombre significa hongo de azúcar de cerveza, debido a que es utilizada durante la producción de esta popular bebida.

Esta levadura ha sido utilizada por más de un siglo en repostería y en la fabricación de cerveza, pero fue a comienzos del siglo XX cuando los científicos le prestaron atención, convirtiéndola en un modelo de estudio.

Este microorganismo ha sido ampliamente utilizado en diferentes industrias; actualmente es un hongo muy utilizado en la biotecnología, para la producción de insulina, anticuerpos, albúmina, entre otras sustancias de interés para la humanidad.

*Saccharomyces cerevisiae* es un microbio unicelular eucariota, de forma globular, verde amarillento. Es quimioorganótrofo, ya que requiere de compuestos orgánicos como fuente de energía y no requiere de luz solar para crecer. Esta levadura es capaz de utilizar diferentes azúcares, siendo la glucosa la fuente de carbono preferida.

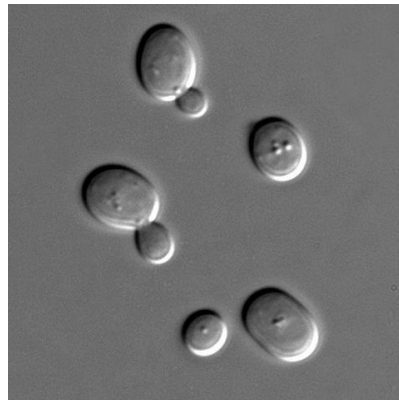
Esta levadura es anaerobia facultativa, ya que es capaz de crecer en condiciones de deficiencia de oxígeno. Durante esta condición ambiental, la glucosa es convertida en diferentes intermediarios como etanol, CO<sub>2</sub> y glicerol, esto último se conoce como

fermentación alcohólica, durante este proceso, el crecimiento de la levadura no es eficiente, sin embargo, es el medio ampliamente utilizado por la industria para fermentar los azúcares presentes en diferentes granos como trigo, cebada y maíz.

*Saccharomyces cerevisiae* puede fermentar los azúcares presentes en las uvas, produciendo hasta un 18% de etanol por volumen de vino. (Rubín Martín, A., 2018).

La temperatura óptima a la que se activa esta levadura es a los 25°C (298.15°K), es lo óptimo para todo tipo de levadura.

*Figura 1-3 Vista microscópica de la levadura Saccharomyces cerevisiae*



Fuente: Rubín Martín, A., 2018.

#### **1.2.1.1 Ventajas Tecnológicas**

- Tolerancia a concentraciones elevadas de etanol (hasta 18% vs 1-4% otras levaduras).
- Poder acidificante y tolerancia a bajos pH (3-4) con la consecuente supresión de patógenos.
- Inocuidad comprobada en más de 8 000 años de uso (status gras).
- Separación espontánea natural del producto (floculación) o fácilmente filtrables o sedimentables.
- Alta productividad, tanto en condiciones aeróbicas (hasta 0.54g de biomasa por gramo de glucosa) como anaeróbicas (hasta 0.48g de etanol por gramo de glucosa).

- Posibilidad de manipulación genética.
- Estabilidad genética.
- Velocidad de generación aceptablemente rápida (1-2 horas). (Nicaragua Bravo, A. C., 2016).

#### **1.2.1.2 Usos industriales dirigidos a los productos de fermentación**

- Elaboración de vino.
- Elaboración de licores.
- Producción de alcohol industrial.
- Elaboración de cerveza. (Nicaragua Bravo, A. C., 2016).

### **1.3 Fermentación alcohólica**

Denominada también como fermentación del etanol o fermentación etílica, es un proceso anaeróbico realizado por las levaduras, mohos y algunas clases de bacterias, que producen cambios químicos en las sustancias orgánicas.

La fermentación alcohólica tiene como finalidad biológica proporcionar energía anaeróbica a los microorganismos unicelulares (levaduras) en ausencia de oxígeno para ello disociar las moléculas de glucosa y obtener la energía necesaria para sobrevivir, produciendo el alcohol y CO<sub>2</sub> como desechos de la fermentación.

La fermentación alcohólica es llevada a cabo principalmente por la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, quien convierte un 90% del azúcar en cantidades equimoleculares de alcohol y CO<sub>2</sub>. (Ecured.cu, 2019).

En la fermentación debe controlarse la densidad y temperatura de dicho proceso donde los grados Brix son una medida de la densidad y la temperatura ha de controlarse debido a que depende de la misma el que la levadura se active y haga su actividad, si es muy baja no actuará bien y si es muy alta puede tener complicaciones e incluso morir, además también debe tomarse en cuenta la cantidad de levadura a utilizar, pH y el tiempo de fermentación.

Los grados Baumé son una escala que sirve para medir el azúcar de un mosto o vino. Se calcula con un mostímetro y corresponde a un valor constante de alcohol potencial, que permite determinar, con una precisión de dos décimas, la cantidad de azúcar de un mosto o de un vino. (Ejemplo: la densidad de 1075 equivale a 10°B, es decir, a 180 gr de azúcar por litro, 18 gr = 1°B o 1° % Vol.). (ING. Cervantes Calbimonte, K., 2019).

Tabla I-2 *Tabla de equivalencia entre densidad, grados baumé, grados brix y alcohol potencial. Aplicable solo a mostos o jugos*

Densidad	°Baumé	°Brix	°Alcohol	Densidad	°Baumé	°Brix	°Alcohol
1012	1.70	0.20	0.11	1057	7.78	12.2	7.2
1013	1.84	0.47	0.23	1058	7.91	12.4	7.3
1014	1.98	0.73	0.43	1059	8.03	12.7	7.5
1015	2.12	1.10	0.59	1060	8.16	13.0	7.6
1016	2.27	1.26	0.70	1061	8.29	13.2	7.8
1017	2.41	1.53	0.88	1062	8.42	13.5	7.9
1018	2.55	1.80	1.06	1063	8.55	13.8	8.1
1019	2.68	2.06	1.18	1064	8.67	14.0	8.2
1020	2.82	2.33	1.35	1065	8.80	14.3	8.4
1021	2.91	2.59	1.47	1066	8.93	14.6	8.6
1022	3.10	2.86	1.65	1067	9.06	14.8	8.7
1023	3.24	3.13	1.82	1068	9.18	15.1	8.9
1024	3.37	3.39	1.94	1069	9.31	15.4	9.0
1025	3.51	3.66	2.21	1070	9.43	15.6	9.2
1026	3.65	3.92	2.30	1071	9.56	15.9	9.3
1027	3.79	4.19	2.41	1072	9.68	16.2	9.5
1028	3.92	4.46	2.69	1073	9.81	16.4	9.6
1029	4.06	4.72	2.77	1074	9.93	16.7	9.8
1030	4.20	5.00	2.95	1075	10.06	17.0	10.0
1031	4.33	5.27	3.06	1076	10.18	17.2	10.1
1032	4.47	5.54	3.24	1077	10.31	17.5	10.3
1033	4.60	5.80	3.42	1078	10.43	17.8	10.5
1034	4.74	6.07	3.54	1079	10.56	18.0	10.6
1035	4.88	6.33	3.71	1080	10.68	18.3	10.8



1036	5.01	6.6	3.7	1081	10.80	18.6	10.9
1037	5.15	6.9	4.0	1082	10.93	18.8	11.0
1038	5.28	7.2	4.2	1083	11.05	19.1	11.2
1039	5.41	7.4	4.4	1084	11.18	19.4	11.4
1040	5.50	7.6	4.5	1085	11.30	19.6	11.5
1041	5.68	8.0	4.7	1086	11.42	19.9	11.7
1042	5.81	8.2	4.8	1087	11.55	20.2	11.9
1043	5.95	8.4	5.0	1088	11.67	20.4	12.0
1044	6.08	8.7	5.1	1089	11.79	20.7	12.2
1045	6.21	9.0	5.3	1090	11.91	21.0	12.3
1046	6.34	9.2	5.4	1091	12.03	21.2	12.5
1047	6.48	9.5	5.6	1092	12.15	21.5	12.6
1048	6.61	9.8	5.7	1093	12.27	21.8	12.8
1049	6.74	10.0	5.9	1094	12.39	22.0	12.9
1050	6.87	10.3	6.0	1095	12.52	22.3	13.1
1051	7.00	10.6	6.2	1096	12.64	22.6	13.3
1052	7.13	10.8	6.3	1097	12.76	22.8	13.4
1053	7.26	11.1	6.5	1098	12.87	23.1	13.6
1054	7.39	11.4	6.7	1099	12.99	23.4	13.8
1055	7.52	11.6	6.8	1100	13.11	23.6	13.9
1056	7.65	11.9	7.0				

Fuente: Vinodefruta.com, 2019.

### 1.3.1 Materias Primas

- Materias sacaroideas como: azúcar de caña, remolacha, melazas y jugos de frutas.
- Materias que contienen almidón: cereales (maíz, cebada, avena, trigo, arroz, sorgo, etc.), así como papa, boniato, girasol, yuca, etc.
- Materiales celulósicos como: madera y residuos de fabricación de pulpa de papel.

La principal materia prima es la melaza. (Ecured.cu, 2019).

### 1.3.2 Condiciones requeridas

#### 1.3.2.1 Condiciones requeridas para la fermentación alcohólica

- Concentración de azúcares: 10-18%.

- pH entre 4-4,5.
- Microorganismo: *Saccharomyces cerevisiae*.
- Ausencia de O<sub>2</sub> y presencia de fosfatos.
- Temperatura de fermentación: 20-25°C (293.15-298.15°K), por encima de 30°C (303.15°K) se evapora el alcohol, siendo la óptima 25°C. (Ecured.cu, 2019).

### 1.3.2.2 Condiciones requeridas para la fermentación en el aguardiente

- Grados Brix: 20-23° (para vinos y licores).
- Cantidad de levadura: 45 gr cada 100 litros como máximo y 30 gr cada 100 litros como mínimo (para vinos y licores).
- Concentración de azúcares: 10-18%.
- pH entre 4-4,5.
- Microorganismo: *Saccharomyces cerevisiae*.
- Ausencia de O<sub>2</sub>.
- Temperatura de fermentación: 20-25°C, siendo la óptima 25°C.
- Tiempo de fermentación: 12 días aproximadamente.

Las variables que hay que medir constantemente son: temperatura, pH, densidad y grados Baumé.

### 1.3.3 Reacciones



Existen dos etapas en el comportamiento metabólico de las levaduras:

- **Vía oxidativa:** multiplicación rápida de las levaduras, hasta el agotamiento del oxígeno.

- **Vía fermentativa:** transformación de la glucosa y fructosa en alcohol con desprendimiento de CO<sub>2</sub>.



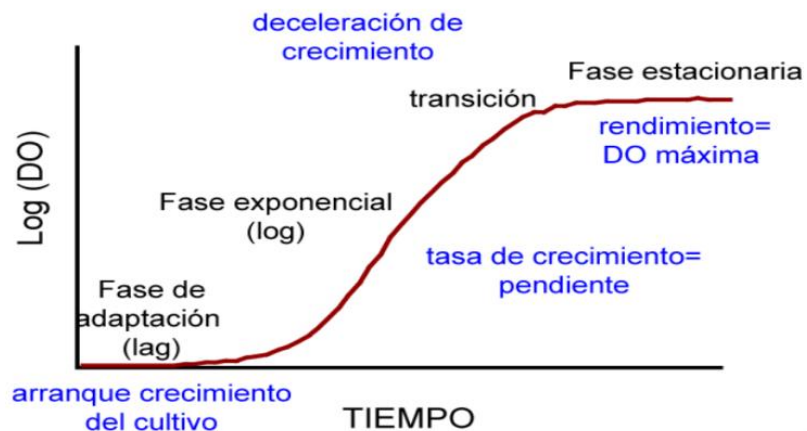
14.6 Kcal/mol a las funciones vitales de las levaduras y

25.4 en producir calor.

### 1.3.4 Cinética de fermentación

#### 1.3.4.1 Crecimiento microbiano

*Figura 1-4 Crecimiento microbiano*



Fuente: ING. Cervantes Calbimonte, K., 2019.

#### 1.3.5 Control de Temperatura

- < 20°C Riesgo de fermentaciones interrumpidas.
- 25°C Óptima para el desarrollo de levaduras.
- 30°C Las levaduras pierden capacidad fermentativa.
- 40°C Las levaduras detienen la actividad fermentativa.
- 45-65°C Mueren las levaduras.

La temperatura óptima es la mínima que permita la fermentación sin interrupciones (25°C).

#### **1.4 Destilación Discontinua (Batch)**

La destilación batch o destilación por lotes, refiere al uso de la destilación en lotes, lo que significa que una mezcla se destila para separarla en sus fracciones componentes antes de que la destilación se vuelva a cargar con más mezcla y se repita el proceso. Esto contrasta con la destilación continua donde se agrega la materia prima y el destilado se extrae sin interrupción. La destilación por lotes siempre ha sido una parte importante de la producción de productos químicos estacionales, de baja capacidad y de alta pureza. Se usa alambique, torre o columna de destilación, rectificador de lotes, removedor o separador por lotes, columna del recipiente o vaso medio.

##### **1.4.1 Condiciones requeridas**

El principio de la destilación se basa en las diferencias que existen entre los puntos de fusión del agua (100°C) y el alcohol (78.3°C). Si un recipiente que contiene alcohol es calentado a una temperatura que supera los 78.3°C, pero sin alcanzar los 100°C, el alcohol se vaporizará y separará del líquido original, para luego juntarlo y recondensarlo en un líquido de mayor fuerza alcohólica.

Así, de comprender el proceso de destilación, se deduce que los mayores componentes de las bebidas destiladas son el alcohol etílico (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) y el agua. (Nicaragua Bravo, A. C., 2016).

#### **1.5 Caracterización de la Materia Prima**

La variedad que se utiliza para este proyecto es el denominado Maíz Morocho de Tarija por proceder de la localidad de San Lorenzo, que tiene que ser seco y amarillo. Sus características son: Nombre científico = *Zea mays* L. Variedad = Morocho, donde para tener una descripción a detalle se tiene el Anexo 1. A continuación, se muestra como es esta variedad de maíz:

*Figura 1-5 Maíz Morocho de Tarija*



Fuente: Revistasbolivianas.org.bo, 2019.

El Morocho es un maíz andino con consistencia semivítrea, que tiene una amplia difusión en los valles altos de Bolivia. El Ministerio de Asuntos Campesinos, Indígenas y Agropecuarios (MACIA), en 2003, señala que “esta variedad se la cultiva entre altitudes de 1.500 a 3.000 msnm. Es la raza más distribuida en los valles templados del país. La planta es de altura media y las mazorcas grandes y medianas de forma cilíndrica, con 8 a 12 hileras y marlo delgado de color blanco y rojo, sus granos son medianos de forma redonda de color amarillo”.

Si bien la difusión de esta variedad es extensa, tiene una mayor presencia en los valles andinos y, en especial, en los departamentos de Cochabamba y Chuquisaca.

Este complejo racial es uno de los más importantes de la región andina, por su alto nivel de comercialización. Al respecto Ávila (2008) sostiene que “el complejo Racial Morocho constituye en la zona andina el maíz con mayor nivel de comercialización, siendo un referente para el precio de los otros tipos de maíz”. Otro aspecto llamativo es que su comercialización trasciende al ámbito nacional, a través del vecino país Perú, donde se evidencia un flujo comercial a pequeña escala debido al contrabando hormiga; esto, a su vez, demuestra su potencial comercial.

Llama la atención, el lugar conferido por los agricultores al maíz Morocho en su seguridad alimentaria, pues mencionan que lo consumen todos los días en forma de

mote, sopa (lawá) o tostado, entre otras. Es tal su importancia en el consumo humano que las superficies cultivadas y las ventas dependen de la cantidad de integrantes de la familia; se lo cultiva con prioridad para el autoconsumo.

Es común también encontrar familias dedicadas también a la producción de chicha; en estos casos, el maíz Morocho ocupa el primer lugar para la obtención de ingresos destinados al hogar.

Tabla I-3 *Importancia del Maíz Morocho para los pequeños productores*

	<b>Posición</b>
En la producción de la finca	2° a 3° lugar
En la seguridad alimentaria	1° lugar
En la generación de ingresos	3° a 4° lugar

Fuente: Ortiz, A. I., 2012.

La variedad más difundida del maíz Morocho es conocida por los productores como “Amarilla”, de la cual destacan su buen rendimiento y sabor. (Ortiz, A. I., 2012).

## **1.6 Caracterización del Producto**

### **1.6.1 Requisitos según la Norma Oficial Mexicana Nom-199-Scfi-2017, Bebidas Alcohólicas-Denominación, Especificaciones Físicoquímicas, Información Comercial y Métodos de Prueba**

#### **1.6.1.1 Aguardiente**

Bebida alcohólica destilada que se denomina con las palabras "aguardiente de \_\_\_\_\_", seguida del nombre de la materia prima vegetal que aporte 51% de los azúcares fermentables y 49% de otros azúcares reductores totales expresados en unidades de masa. El aguardiente no permite las mezclas en frío. Su contenido alcohólico es de 35% a 55% Alc. Vol.

La elaboración de un aguardiente tiene como principal objetivo obtener una bebida de alta graduación mediante la destilación de otra de bajo contenido alcohólico. Por esta razón, cualquier materia prima capaz de experimentar un proceso de fermentación alcohólica puede dar lugar a un aguardiente. En el caso concreto de los destilados procedentes de frutas o sus derivados (vino, sidra, etc) la diferenciación final del aguardiente va ligada, en gran medida, a la presencia de notas aromáticas características de la materia prima de la que procede, lo que les confiere sus peculiares matices. Las diferencias percibidas al degustar estos productos se deben a un buen número de compuestos presentes a bajas concentraciones, habitualmente inferiores a los mg/L, cuyo origen puede ser varietal (aroma primario), formado durante los procesos fermentativos o durante la destilación (aromas secundarios) y en las etapas de maduración y envejecimiento (aromas terciarios).

Es fácil comprender que si durante la destilación se concentran los aromas alrededor de 10 veces, el mimar la calidad de todos los eslabones de la cadena determina la obtención de aguardientes de calidad. Por ello, los aspectos más relevantes a considerar se refieren a la materia prima y su transformación en bebida alcohólica, a los sistemas de destilación y, si tuviera lugar, al envejecimiento. (Rodríguez Madrera, R. y Suárez Valles, B.).

**Nota 9.** El aguardiente puede elaborarse de manera enunciativa, más no limitativa de agave, caña, frutas, cereales, ciruela, manzana, uva, entre otros.

Tabla I-4 *Especificaciones del aguardiente*

<b>PARAMETRO</b>	<b>MINIMO</b>	<b>MAXIMO</b>
Contenido de alcohol a 20°C (%Alc. Vol.)	35	55
Extracto Seco (g/l)	0	5
Valores expresados en mg/100 ml de Alcohol Anhidro		
Aldehídos	0	40
Esteres	2	250
Alcoholes Superiores*	0	500
Metanol*	0	300
Furfural	0	5

\* Para el caso de los aguardientes de agave, el límite inferior de metanol será de 30,0 mg/100ml de alcohol anhidro y el de alcoholes superiores de 20 mg/100ml de alcohol anhidro.



Tabla I-5 Normas Mexicanas aplicables sobre Métodos de Ensayo (Prueba) para  
Bebidas Destiladas 32% a 55% en Volumen de  
Alcohol

<b>BEBIDAS DESTILADAS 32% A 55% EN VOLUMEN DE ALCOHOL</b>	<b>NORMAS MEXICANAS APLICABLES SOBRE METODOS DE ENSAYO (PRUEBA)</b>
AGUARDIENTE	<ul style="list-style-type: none"> <li>· NMX-V-005-NORMEX-2013 (Ver 2.22).</li> <li>· NMX-V-004-NORMEX-2013 (Ver 2.21).</li> <li>· NMX-V-013-NORMEX-2013 (Ver 2.24).</li> <li>· NMX-V-017-NORMEX-2014 (Ver 2.26).</li> </ul>

Fuente: SEGOB, 2019.

Debido a que en Bolivia no se tiene ni elabora aguardiente, no se cuenta con una norma boliviana para las especificaciones que se debe tomar para la elaboración de este producto, por eso se utilizará dicha norma mexicana descrita.

### 1.7.2 Características del aguardiente

- **Olor y sabor:** Aroma suave bien definido de las melazas. Sabor típico del aguardiente, bien balanceado y definido.
- **Aspecto:** Líquido brillante y transparente, libre de sólidos en suspensión y sedimentos.
- **Especificaciones físicas y químicas:** Por ciento de alcohol en volumen a 20°C: 40 +- 0.2 grados Gay Lussac.

- **Acidez total:** 2 – 8.5 gramos de ácido acético por 100 litros de alcohol absoluto. Formato: Cajas de 12 botellas de 700 ml de cristal transparente. (Ramírez Vargas, N., y Lizarazo Valbuena, C. E., 2016 Septiembre).

### 1.7.3 Usos/aplicaciones/beneficios del Producto

El aguardiente es una bebida alcohólica que no contiene carbohidratos, grasas ni azúcares, aportando 222 calorías a la dieta.

Las proporciones de los nutrientes del aguardiente pueden variar según el tipo y la cantidad de la bebida, además de otros factores que puedan intervenir en la modificación de sus nutrientes. Según la preparación del aguardiente, pueden variar sus propiedades y características nutricionales.

Esta bebida, debido a su contenido de alcohol, debe tomarse con moderación.

Entre las propiedades nutricionales del aguardiente cabe destacar que 100 gramos de aguardiente tienen los siguientes nutrientes:

Tabla I-6 *Propiedades nutricionales del aguardiente*

<b>Aporte por ración</b>	<b>Minerales</b>
Energía [Kcal] = 222,00	Calcio [mg] = 1,00
Proteína [g] = 1,00	Hierro [mg] = 1,00
Hidratos carbono [g] = 1,00	Yodo [mg] = 1,00
-	Magnesio [mg] = 1,00
-	Zinc [mg] = 1,00
-	Sodio [mg] = 1,00
-	Potasio [mg] = 1,00

Fuente: Dietas.net, 2015.

Debido a que tiene un bajo nivel de sodio, el tomar el aguardiente es beneficioso para quienes padecen hipertensión o tienen exceso de colesterol. (Alimentos.org.es, 2009).

Si el remedio de las abuelas era tomar una copa de aguardiente para curar la gripe, los científicos aseguran que un vasito de whisky hace maravillas para el dolor de garganta. Solo se lo debe mezclar con un poco de agua tibia y miel y se sentirá un alivio inmediato (no es el efecto del alcohol, realmente es curativo).

Además, se ha identificado que reduce el riesgo de formación de coágulos en la sangre, ayuda a regular la insulina, e incluso dicen que consumido con moderación puede prevenir el cáncer. (Fucsia.co, 2019).

#### **1.7.4 Aspectos del Mercado**

A nivel nacional, el único lugar donde hacen un producto parecido al aguardiente de maíz es en la ciudad de La Paz, Andean Culture Distillery con su producto *Killa Andean Moonshine* que es un whisky de maíz.

El precio de la botella de 250 mililitros de Killa cuesta Bs 60 y la de 750 mililitros tiene un precio de Bs 150. En cuanto a la producción, Andean Culture Distillery tiene una capacidad de producción de 400 litros al mes, esto significa alrededor de 500 botellas de 750 mililitros. (Pau, A., 2016 Diciembre 31).

*Figura 1-6 Killa Andean Moonshine*



Fuente: Periodicolea.com.ar, 2019 Mayo 14.

Los precios actuales de las bebidas alcohólicas en Bolivia son los siguientes:

Tabla I-7 *Precios actuales de las bebidas alcohólicas en Bolivia 2019*

<b>Nombre</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio (Bs)</b>
Whisky Johnnie Walker Etiqueta Negra	1lt	290,00
Whisky Johnnie Walker Platinum	750ml	889,00
Whisky Old Parr 12 Años	1lt	290,00
Whisky Chivas 12 Años	1lt	323,90
Whisky Jw Rojo + Vaso Chalice	1lt	149,00
Whisky Jw Double Black + Tannat	750ml	369,00

Fuente: Ketal.com.bo, 2019.

### **1.7.5 Procesos Tecnológicos empleados**

Los métodos de destilación para los aguardientes son 3 a escala industrial:

**1.7.5.1 Destilación simple:** se usa un alambique el cual está formado por caldera capitel y depósito. El líquido se calienta en la caldera hasta que se forma vapor y pasa por el capitel y luego se condensa en la serpentina que está dentro del depósito lleno de agua fría. A continuación, se puede ver cómo es este equipo:

*Figura 1-7 Equipo de destilación simple*



Fuente: Destíllatío, 2013.

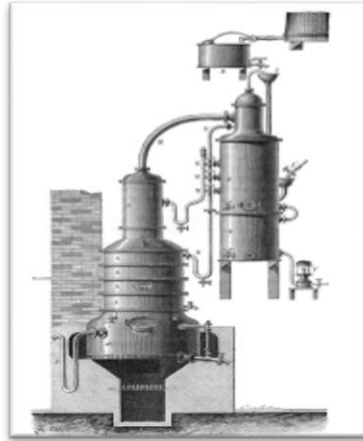
**1.7.5.2 Destilación continua:** permite separar el alcohol, el agua, los diferentes elementos en un único proceso. El alambique tiene 2 columnas: rectificadora y destiladora las cuales están divididas por placas de cobre perforadas.

El alcohol se introduce por la columna rectificadora y va ascendiendo a través de un serpentín. En esta fase se obtiene un aguardiente de base que contiene la mayor parte del alcohol del líquido fermentado e impurezas.

Al pasar por la columna destiladora llena de vapor, el líquido empieza a gotear por las placas de cobre.

Cuando el alcohol evaporado llega a la parte superior vuelve a pasar por la columna rectificadora donde comienza a calentar el nuevo líquido. A continuación, se puede ver cómo es este equipo:

*Figura 1-8 Equipo de destilación continua*



Fuente: Cándido, 2019.

**1.7.5.3 Destilación discontinua:** generalmente se destila dos veces en alambique simple o en columna de destilación discontinua y se obtiene un aguardiente transparente que debe envejecer en barricas de roble. (Utntyh.com, 2010 Junio 01). Este es el equipo y tipo de destilación que se utiliza para la elaboración de aguardiente de maíz en el presente proyecto, donde a continuación, se puede ver cómo es este equipo:

*Figura 1-9 Equipo de destilación discontinua*



Fuente: Armfieldonline.com, 2019.

**CAPITULO II**

**PARTE**

**EXPERIMENTAL**

## **2.1 Parte experimental del Proyecto de Investigación**

La parte experimental del presente trabajo se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), el cual es 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), en donde se dispuso de los equipos y materiales necesarios para el mismo.

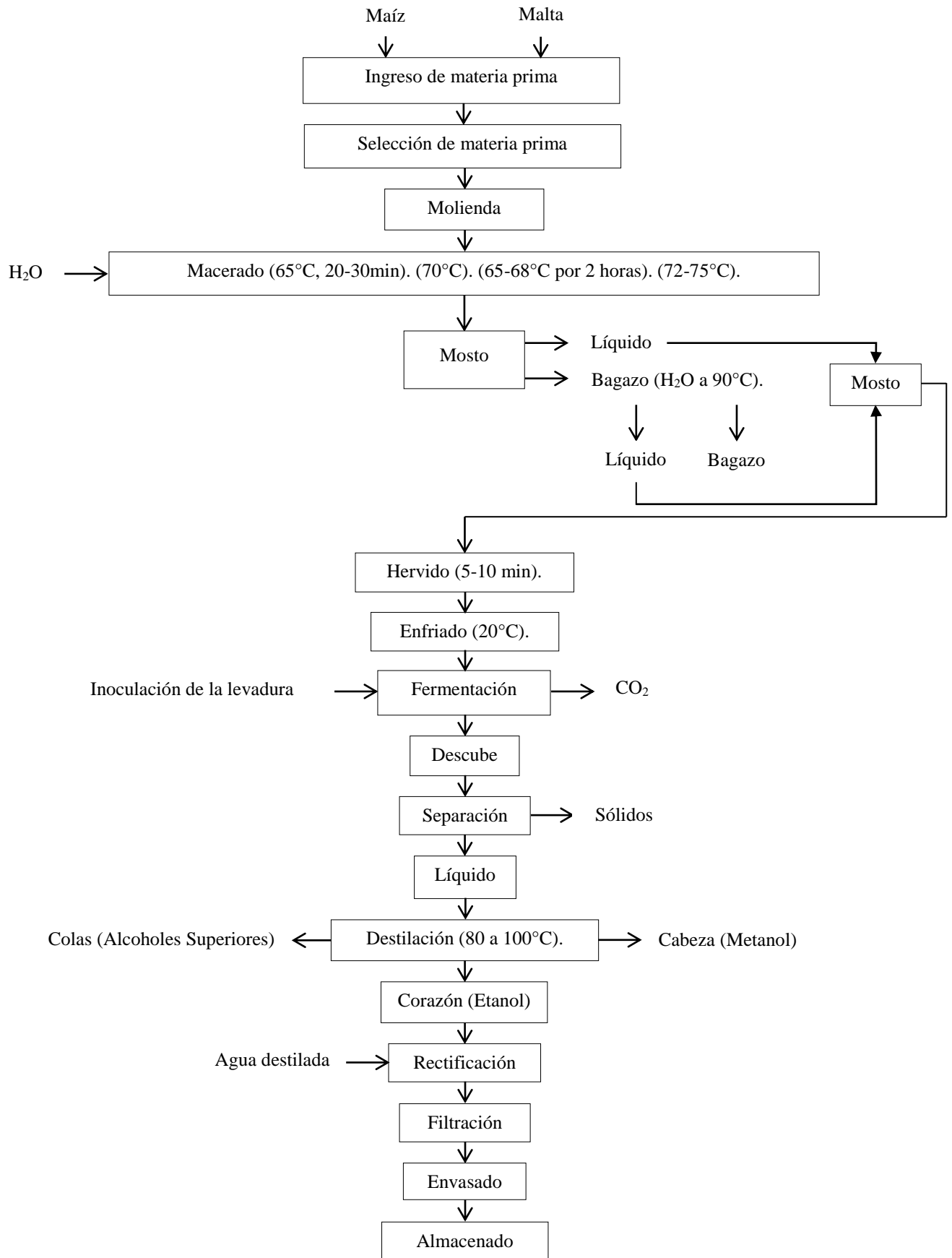
## **2.2 METODOLOGIA DEL ESTUDIO**

### **2.2.1 Descripción Esquemática de la Metodología General del Estudio**

El siguiente diagrama muestra las etapas que se llevaron a cabo para el proceso de elaboración de aguardiente de maíz:



Figura 2-1 Diagrama de bloques del proceso de elaboración de aguardiente de maíz



Fuente: Elaboración propia, 2023.

## **2.2.2 Descripción técnica de cada una de las etapas del proceso**

Se siguió el siguiente procedimiento descrito a continuación:

### **2.2.2.1 Ingreso de materia prima**

El Maíz Morocho de Tarija se lo consigue en cantidades del Municipio de San Lorenzo, Provincia Méndez.

### **2.2.2.2 Selección de materia prima**

Tras la recepción, se realizó la selección del maíz, para ver los granos que se encuentran en buenas condiciones para llevar a cabo el proceso, algunos pueden tener granos partidos, etc. entonces se debe tener un buen maíz pues también de este dependerá la calidad del producto.

### **2.2.2.3 Molienda**

Se muele el maíz y la malta en un molino de discos.

### **2.2.2.4 Macerado**

En una olla para macerado poner la harina de maíz, agua y de 15-25% de la malta y remover con ayuda de una espumadera, luego, calentar lentamente hasta 65°C y mantener esa temperatura durante 20-30min y llevar a ebullición. Dejar que enfríe hasta 70°C y añadir el resto de la malta y mantener la temperatura de 65-68°C por 2 horas. Luego subir la temperatura de 72-75°C. Colar el contenido de la olla de macerado en una fuente y echar el bagazo en otra fuente. Echar agua para el lavado y calentar a 90°C, luego echar el bagazo a la olla de macerado, dar unas vueltas con la espumadera y volver a colar.

### **2.2.2.5 Hervido**

Echar todo el mosto a la olla y hacer hervir durante 5-10 minutos. Hacer la desinfección de todo el material para seguir con los siguientes pasos.

### **2.2.2.6 Enfriado**

Una vez hervido todo hay que echar así caliente en el fermentador y se espera a que se enfríe el mosto hasta que esté en temperatura ambiente (20°C).

### **2.2.2.7 Fermentación**

Se la realiza en tacho cerrado y sellado a una temperatura de 25°C con la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. La fermentación ocurrirá cuando la levadura metabolice el azúcar.

En la fermentación debe controlarse la densidad y temperatura de dicho proceso donde los grados Brix son una medida de la densidad y la temperatura ha de controlarse debido a que depende de la misma el que la levadura se active y haga su actividad, si es muy baja no actuará bien y si es muy alta puede tener complicaciones e incluso morir, además también debe tomarse en cuenta la cantidad de levadura a utilizar, pH y el tiempo de fermentación.

Los grados Baumé son una escala que sirve para medir el azúcar de un mosto o vino. Se calcula con un mostímetro y corresponde a un valor constante de alcohol potencial, que permite determinar, con una precisión de dos décimas, la cantidad de azúcar de un mosto o de un vino. (Ejemplo: la densidad de 1075 equivale a 10°B, es decir, a 180 gr de azúcar por litro, 18 gr = 1°B o 1° % Vol.).

Las variables que hay que medir constantemente son: temperatura, pH, densidad y grados Baumé.

### **2.2.2.8 Filtración**

Se separa el mosto de las levaduras y nutrientes que se depositan en el fondo del tacho, quedando el mosto libre de las mismas.

### **2.2.2.9 Destilación**

Se realiza la destilación doble en la torre de destilación discontinua marca UOP3BM a una temperatura de entre 80 a 100°C, donde en la primera destilación se obtendrá las fracciones volátiles, cabeza, cola y corazón que es el aguardiente y en la segunda

destilación también en donde las fracciones volátiles y las cabezas y colas serán descartadas. Aquí el aguardiente saldrá transparente. Se baja el grado alcohólico a grado comercial (40°GL) con agua destilada y se hace una nueva filtración para eliminar alguna impureza que haya quedado.

#### **2.2.2.10 Envasado**

Se guarda el producto obtenido en botellas de vidrio.

#### **2.2.2.11 Almacenado**

Se almacenan las botellas de vidrio en cajas de plástico teniendo el producto terminado.

### **2.3 Desarrollo de la parte experimental**

#### **2.3.1 Selección del Método a utilizar**

Tabla II-1 Selección del Método de Elaboración de Aguardiente de Maíz

Nº	A	B	Destilación Continua			Destilación Batch			Destilación Artesanal (Discontinua)		
			C	D	E	C	D	E	C	D	E
#	%	<b>PROCESO EVALUADO:</b>  <b>RUBROS EVALUADOS</b>	<b>CALIFICACIÓN</b> 0 = no aplica 1 = deficiente 3 = adecuado 5 = muy bueno	<b>c/5</b> (excepto en renglones 7.3, 8.5, 9.6 y 10.7)	<b>D*A</b>	<b>CALIFICACIÓN</b> 0 = no aplica 1 = deficiente 3 = adecuado 5 = muy bueno	<b>c/5</b> (excepto en renglones 7.3, 8.5, 9.6 y 10.7)	<b>D*A</b>	<b>CALIFICACIÓN</b> 0 = no aplica 1 = deficiente 3 = adecuado 5 = muy bueno	<b>c/5</b> (excepto en renglones 7.3, 8.5, 9.6 y 10.7)	<b>D*A</b>
<u>1</u>	20	<b>APLICABILIDAD DEL PROCESO</b>	3	0,6	12	3	0,6	12	3	0,6	12
<u>2</u>	8	<b>GENERACIÓN DE RESIDUOS</b>	1	0,2	1,6	1	0,2	1,6	3	0,6	4,8
<u>6</u>	5	<b>REQUERIMIENTO DE ÁREA</b>	3	0,6	3	3	0,6	3	1	0,2	1
<u>9</u>	30	<b>OPERACIÓN</b>									
9.1	5	Flexibilidad de operación	3	0,6	3	3	0,6	3	3	0,6	3
9.2	10	Confiabilidad del proceso	3	0,6	6	3	0,6	6	1	0,2	2
9.3	10	Complejidad de operación del proceso	3	0,6	6	5	1	10	1	0,2	2
9.4	5	Requerimiento de personal	3	0,6	3	3	0,6	3	3	0,6	3
9.6	*	*	*	0,5	*	*	0,6	*	*	0,3	*
<u>10</u>	14	<b>ENTORNO</b>									
10.1	2	Influencia de la temperatura	3	0,6	1,2	3	0,6	1,2	3	0,6	1,2
10.2	2	Producción de ruido	5	1	2	5	1	2	3	0,6	1,2
10.3	5	Producción de malos olores	3	0,6	3	3	0,6	3	1	0,2	1
10.4	5	Generación de gases de efecto invernadero (huella de carbono)	1	0,2	1	3	0,6	3	1	0,2	1
10.5	*	*	*	0,4	*	*	0,5	*	*	0,2666667	*
<u>11</u>	121	SUMAR LOS VALORES DE LA COLUMNA E y ANOTAR EL RESULTADO EN LA CASILLA 11E	*	7.1	41.8	*	8.1	47.8	*	5.17	32.2

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Dada la tabla anterior, se puede concluir que el método seleccionado para la elaboración de Aguardiente de Maíz es la Destilación Batch.

Tabla II-2 Ponderación de factores

FACTOR EVALUADO	COMENTARIOS DEL EVALUADOR	PONDERACIÓN DEL EVALUADOR
Aplicabilidad del proceso	Este es un factor que se debe tomar mucho en cuenta pues depende de cuan fácil o complicado sea el proceso para que el trabajo sea eficiente y cual otra persona pueda hacer manejo del mismo, por tanto se le asigna una ponderación con alto valor.	20
Aceptación por parte de la comunidad	Se quiere tener un producto de buena calidad el cual tenga alta demanda en el mercado.	10
Generación de subproductos con valor económico o de reuso	El subproducto que se genera es al mezclar el agua que se tenga del destilado con maíz para alimento de chanchos con lo cual se tendrá ingresos extra.	5
Vida útil	El equipo con el cual se trabaje para cada proceso es importante tenerlo en cuenta para así hacerle un adecuado mantenimiento y demás personas posteriormente puedan hacer uso del equipo.	5
Requerimiento de área	Se necesita hacer una optimización del área donde el espacio de trabajo puede requerir mucha o poca área.	5
Operación	El equipo a utilizar debe realizar un trabajo eficiente, sencillo, con buen rendimiento, con todos los parámetros que se necesita. Se puede decir que el factor de operación es el más importante porque depende de él la calidad del producto, por lo que se le da la ponderación en valor más alto.	30
Entorno e impacto ambiental	Lo menos que se quiere es causar molestias al entorno con ruidos fuertes, malos olores, contaminación visual y daños al medio ambiente con los gases de efecto invernadero, por lo que se le da una ponderación alta a este factor para el uso de un equipo adecuado.	17

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla II-3 *Calificación de los procesos*

<b>FACTOR EVALUADO</b>	<b>COMENTARIOS DEL EVALUADOR</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>
		Destilación Continua	Destilación Batch	Destilación Artesanal (Discontinua)
Aplicabilidad del proceso	Los tres procesos son adecuados para la elaboración de aguardiente.	3	3	3
Generación de residuos	En los procesos de destilación continua y destilación batch se tiene poca generación de residuos mientras que en la destilación artesanal se tiene una generación adecuada, no produce ni muchos ni pocos residuos.	1	1	3
Aceptación por parte de la comunidad	Con cualquiera de los tres procesos se tendrá un producto de calidad.	3	3	3
Generación de subproductos con valor económico o de reuso	En los tres procesos se puede generar comida para chanchos pero en la destilación artesanal usualmente botan los residuos porque hacen daño.	3	3	0

Vida útil	Los equipos de los tres procesos tienen una vida útil adecuada, donde se les puede hacer mantenimiento. En el caso del artesanal se usa de generación tras generación y los otros equipos tienen cierta vida útil.	3	3	3
Requerimiento de área	El espacio de trabajo para las dos primeras destilaciones es adecuado, un espacio ni muy grande ni muy pequeño, mientras que en la artesanal no necesita de mucha área, suficiente un espacio pequeño.	3	3	1
Flexibilidad de operación	Los tres procesos se pueden adaptar a ciertos parámetros que se necesita, por lo que son adecuados.	3	3	3



Confiabilidad del proceso	En el caso de la destilación artesanal, no saben si lo calentarán mucho o poco quienes usan este método, puede tener cambios en la temperatura con lo que puede variar su calidad, por lo que se le asigna un valor deficiente.	3	3	1
Complejidad de operación del proceso	En la destilación continua se tiene un manejo adecuado del equipo, no es muy difícil usarlo. En la destilación batch es más rápido su proceso pero se debe tener mucho cuidado con la medición y control de los parámetros como la temperatura. En la destilación artesanal muchas veces no se puede tener el control total de los parámetros por lo que lo hace un proceso más complejo y demoroso.	3	5	1

Requerimiento de personal	Se requiere para los tres procesos un personal adecuado, ni muchos ni pocos, que realicen tareas sencillas.	3	3	3
Influencia de la temperatura	Este es un factor muy importante y a tener mucho en cuenta pues de este y otros parámetros depende la calidad del producto.	3	3	3
Producción de ruido	En las dos primeras destilaciones no se tiene la producción de mucho ruido mientras que en la última se produce un poco más.	5	5	3
Producción de malos olores	En la destilación artesanal se produce más malos olores que en las otras dos destilaciones.	3	3	1

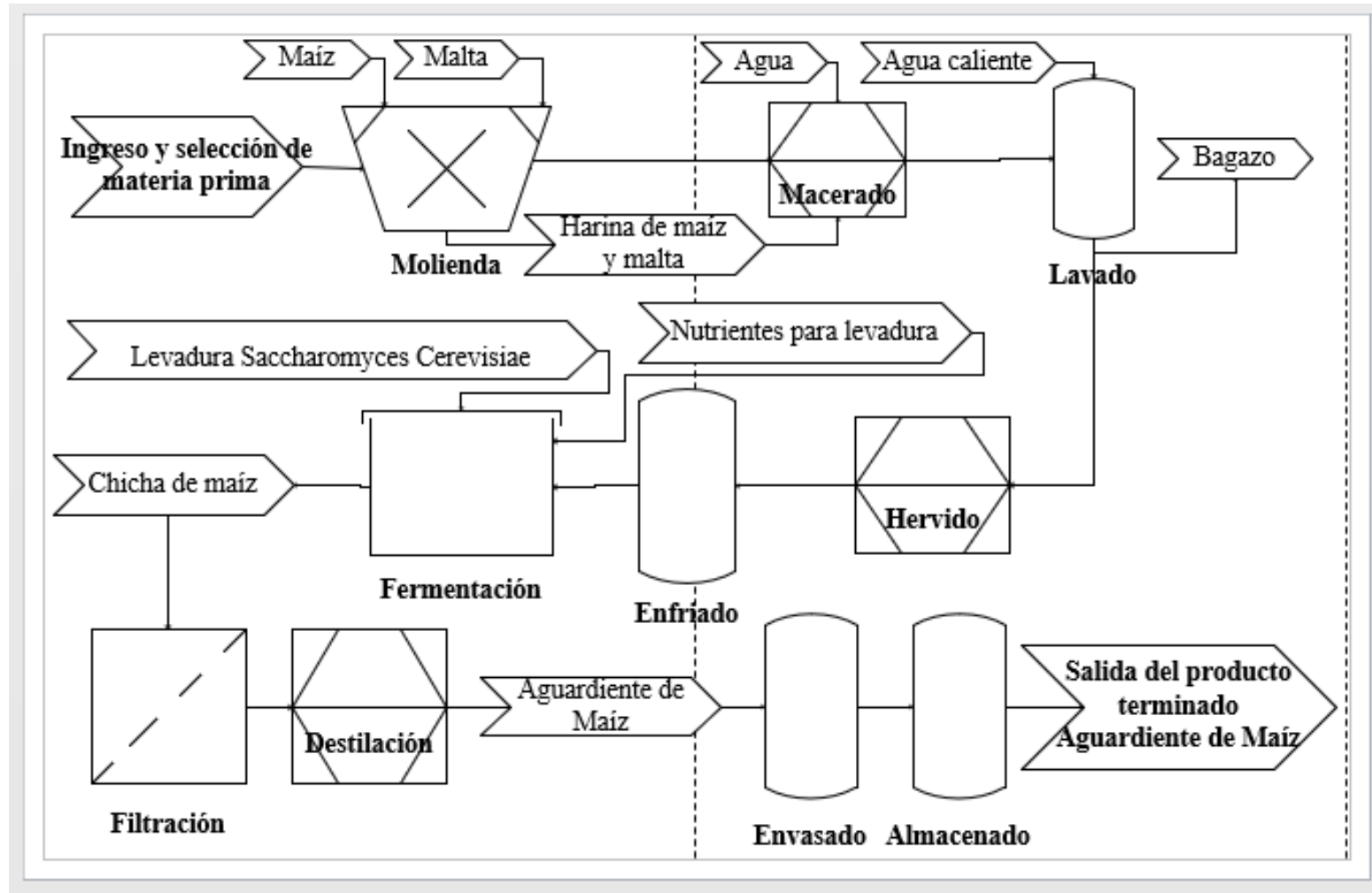
Generación de gases de efecto invernadero (huella de carbono)	La destilación continua y la destilación artesanal son las que producen más gases de efecto invernadero respecto a la destilación batch, siendo la artesanal la que más contamina por la leña que se quema. La destilación continua es a combustible mientras que la destilación batch es a energía eléctrica.	1	3	1
---	--	---	---	---

Fuente: Elaboración propia, 2019.

## 2.3.2 Descripción del Proceso Tecnológico seleccionado

### 2.3.2.1 Diagrama de Flujo del Proceso

Figura 2-2 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de Aguardiente de Maíz



Fuente: Elaboración propia, 2022.

### **2.3.3 Diseño Factorial**

El diseño factorial nos ayuda a ver cuántos experimentos tenemos que hacer. Primero es necesario conocer que factores o variables influyen o afectan significativamente en el proceso. Se escogen dos o tres variables las cuales se pueden variar, modificar y controlar en el equipo (son variables independientes). Una vez obtenido esto, se busca nuestra variable respuesta (es variable dependiente). De cada variable independiente, se anota el rango máximo y mínimo a la que se da para la etapa de proceso que se escoja. Se puede tomar uno, dos o hasta tres etapas de proceso para hacer el diseño factorial de cada uno. Su fórmula es  $2^k$  y  $3^k$  donde 2 y 3 son los niveles (rangos) y k las variables (independientes).

Se toma como diseño factorial lo siguiente: dos factores o variables con dos niveles máximo y mínimo con dos repeticiones o réplicas y una variable respuesta para una etapa de proceso.

#### **2.3.3.1 Diseño Factorial para la Fermentación en la Elaboración de Aguardiente de Maíz**

A = Variable independiente: Cantidad de levadura. (Se varía la cantidad de levadura para saber si tiene algún cambio notorio en la obtención de cantidad de etanol en cuanto a su grado alcohólico donde esta es nuestra variable respuesta).

B = Variable independiente: Cantidad de mosto. (Se varía la cantidad de mosto para ver si tiene algún efecto en la obtención de cantidad de etanol en cuanto a su grado alcohólico donde esta es nuestra variable respuesta).

De la fórmula  $2^k$  se tiene:

2 = Niveles máximo y mínimo.

k = Variables.

Se tiene dos repeticiones o réplicas.

C = Variable dependiente, respuesta: Grado alcohólico del etanol obtenido.

Entonces desarrollando:

$$2^k$$

Niveles máximo y mínimo = 2.

Número de variables = 2.

Se tiene:

Número de experimentos:

$$2^2 = 4$$

Con dos repeticiones o réplicas de cada experimento, se tiene el número de experimentos final:

$$4 \times 2 = 8$$

Para lo cual se tendrá 8 tachos para los 8 experimentos.

A continuación, se muestra los niveles de las variables:

Tabla II-4 *Niveles máximo y mínimo de las variables para la fermentación*

<b>Variables</b>	<b>Nivel alto (Máximo)</b>	<b>Nivel bajo (Mínimo)</b>
Cantidad de levadura	23 gr de levadura.	11.5 gr de levadura.
Cantidad de mosto	35 litros mosto.	5.500 litros mosto.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Nivel alto = el valor más alto con el que se trabaja. (+).

Nivel bajo = el valor más bajo con el que se trabaja. (-).

Tabla II-5 *Niveles superior e inferior de las variables para la fermentación*

Nivel	Cantidad de levadura	Cantidad de mosto
Superior	23 gr de levadura.	35 litros mosto.
Inferior	11.5 gr de levadura.	5.500 litros mosto.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

En la siguiente tabla se muestra las combinaciones de las variables con sus dos niveles para los 8 experimentos en 1 corrida:

Tabla II-6 *Combinaciones de las variables con sus dos niveles para los 8 experimentos en 1 corrida*

	A	B	Respuesta
N° corrida	Cl <sub>ij</sub>	Cm <sub>ij</sub>	Ga
1	-1	-1	Cl <sub>11</sub> Cm <sub>11</sub>
2	+1	-1	Cl <sub>21</sub> Cm <sub>11</sub>
3	-1	+1	Cl <sub>11</sub> Cm <sub>21</sub>
4	+1	+1	Cl <sub>21</sub> Cm <sub>21</sub>
5	-1	-1	Cl <sub>12</sub> Cm <sub>12</sub>
6	+1	-1	Cl <sub>22</sub> Cm <sub>12</sub>
7	-1	+1	Cl <sub>12</sub> Cm <sub>22</sub>
8	+1	+1	Cl <sub>22</sub> Cm <sub>22</sub>

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Donde:

i = Nivel.

j = Repetición.

A = Variable independiente: Cl = Cantidad de levadura.

B = Variable independiente: Cm = Cantidad de mosto.

Ga = Grado alcohólico del etanol obtenido. Variable dependiente, respuesta.

Nivel máximo = 1.

Nivel mínimo = 2.

En la siguiente tabla se muestra las combinaciones de las variables con sus dos niveles para los 8 experimentos en una primera réplica:

Tabla II-7 *Combinaciones de las variables con sus dos niveles para los 8 experimentos en una primera réplica*

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>Respuesta</b>
<b>N° corrida</b>	Cl <sub>ij</sub>	Cm <sub>ij</sub>	Ga
1	-1	-1	Cl <sub>11</sub> Cm <sub>11</sub>
2	+1	-1	Cl <sub>21</sub> Cm <sub>11</sub>
3	-1	+1	Cl <sub>11</sub> Cm <sub>21</sub>
4	+1	+1	Cl <sub>21</sub> Cm <sub>21</sub>
5	-1	-1	Cl <sub>12</sub> Cm <sub>12</sub>
6	+1	-1	Cl <sub>22</sub> Cm <sub>12</sub>
7	-1	+1	Cl <sub>12</sub> Cm <sub>22</sub>
8	+1	+1	Cl <sub>22</sub> Cm <sub>22</sub>

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Primera repetición = 1.

Segunda repetición = 2.

### 2.3.4 Descripción detallada de cada una de las etapas del proceso

#### 2.3.4.1 Ingreso y Selección de materia prima

- 11.500 Kg de maíz morocho.
- 11.500 Kg de malta.



*Figura 2-3 Selección de materia prima*



Fuente: Elaboración propia, 2022.

### **2.3.4.2 Molienda**

Se muele el maíz y la malta en un molino de discos.

*Figura 2-4 Molienda del maíz*



Fuente: Elaboración propia, 2022.

*Figura 2-5 Molienda de la malta*



Fuente: Elaboración propia, 2022.

### 2.3.4.3 Macerado

En una olla para macerado poner la harina de maíz, agua y de 15-25% de la malta (se trabajó con 2 Kg de harina de maíz con 16 l de agua y 210 gr de malta).

Remover con ayuda de un cucharón grande, luego, calentar lentamente hasta 65°C y mantener esa temperatura durante 20-30min y llevar a ebullición. Dejar que enfríe hasta 70°C y añadir el resto de la malta y mantener la temperatura de 65-68°C por 2 horas. Luego subir la temperatura de 72-75°C.

Tabla II-8 *Cantidades usadas para el macerado*

<b>Cantidad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Harina de maíz	2 Kg	2 Kg	2 Kg	2 Kg	2 Kg	1.5 Kg
Agua	16 l	16 l	16 l	16 l	16 l	12 l
Malta	210 gr	210 gr	210 gr	210 gr	210 gr	157.5 gr

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Figura 2-6 *Proceso de macerado con control de temperatura*



Fuente: Elaboración propia, 2022.

### 2.3.4.3.1 Lavado

Colar el contenido de la olla de macerado en una fuente y echar el bagazo en otra fuente. Echar agua para el lavado (se usó 8 litros) y calentar a 90°C, luego echar el bagazo a la olla de macerado, dar unas vueltas con la espumadera y volver a colar.

Tabla II-9 *Cantidad de agua usada para el lavado*

<b>Cantidad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Agua	8 l	8 l	8 l	8 l	8 l	6 l

Fuente: Elaboración propia, 2022.

### 2.3.4.4 Hervido

Echar todo el mosto a la olla y hacer hervir durante 5-10 minutos. Hacer la desinfección de todo el material para seguir con los siguientes pasos.

### 2.3.4.5 Enfriado

Una vez hervido todo hay que echar así caliente en el fermentador y se espera a que se enfríe el mosto hasta que esté en temperatura ambiente (20°C).

Se tiene:

Tabla II-10 *Cantidad de mosto en cada tacho*

<b>Tacho 1</b>	<b>Tacho 2</b>	<b>Tacho 3</b>	<b>Tacho 4</b>
35 litros mosto.	35 litros mosto.	5.500 litros mosto.	5.500 litros mosto.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Con los siguientes datos, según la Tabla I-2 *Tabla de equivalencia entre densidad, grados baumé, grados brix y alcohol potencial. Aplicable solo a mostos o jugos:*

Tabla II-11 *Datos del mosto antes de la fermentación*

<b>Densidad</b>	<b>°Baumé</b>	<b>°Brix</b>
1042	5.81	8.2

Fuente: Vinodefruta.com, 2019.

### 2.3.4.6 Fermentación

Con los tachos y materiales esterilizados, se procede a activar la levadura en donde se tiene lo siguiente:

Tabla II-12 *Datos para la fermentación*

<b>Tacho 1</b>	<b>Tacho 2</b>	<b>Tacho 3</b>	<b>Tacho 4</b>
35 litros mosto.	35 litros mosto.	5.500 litros mosto.	5.500 litros mosto.
23 gr de levadura.	11.5 gr de levadura.	23 gr de levadura.	11.5 gr de levadura.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para la cantidad de nutriente:

Tabla II-13 *Datos para la cantidad de nutriente*

<b>Elemento</b>	<b>Tacho grande</b>	<b>Tacho pequeño</b>
Agua	203.3 ml.	90.3 ml.
Nutriente	20.33 gr.	9.03 gr.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

La fermentación se la realiza en tacho cerrado y sellado a una temperatura de 25°C con la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. La fermentación ocurrirá cuando la levadura metabolice el azúcar.

Para la fermentación se obtiene los siguientes datos:

Tabla II-14 *Datos obtenidos al inicio del proceso de fermentación*

<b>Día</b>	<b>Tipo</b>	<b>Muestra</b>	<b>T °C</b>	<b>°Brix</b>	<b>pH</b>	<b>°Baumé</b>
1	Muestra original	1	20	12	0.3	12
		2		12	0.1	9.9
		3		12	0.1	10.96
		4		12	0.1	9.1
	Primera repetición	1	20	12	0.3	12
		2		12	0.1	9.9
		3		12	0.1	10.96
		4		12	0.1	9.1
	Segunda repetición	1	20	12	0.3	12
		2		12	0.1	9.9
		3		12	0.1	10.96
		4		12	0.1	9.1

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Con estos datos, se muestra en qué condiciones se está comenzando la fermentación, donde se ve que está apta en su proceso, la muestra original con sus dos repeticiones.

Tabla II-15 *Datos obtenidos en el proceso de fermentación*

<b>Día</b>	<b>Muestra</b>	<b>T °C</b>	<b>°Brix</b>	<b>pH</b>	<b>°Baumé</b>
2	1	20	11	0.3	10
	2		11	0.1	7.9
	3		11	0.1	8.96
	4		11	0.1	7.1
3	1	20	10	0.4	9.48
	2		10	0.1	7.5
	3		10	0.2	8.43
	4		10	0.2	6.55

4	1	20	9	0.4	8.48
	2		9	0.1	6.5
	3		9	0.2	7.43
	4		9	0.2	5.55
5	1	20	8	0.4	8.48
	2		8	0.1	6.5
	3		8	0.2	7.43
	4		8	0.2	5.55
6	1	20	7	1.8	6.96
	2		7	1.5	4.96
	3		7	1.2	5.9
	4		7	1.2	4.28
7	1	20	6	1.8	6.96
	2		6	1.5	4.96
	3		6	1.2	5.9
	4		6	1.2	4.28
8	1	20	5	2.1	5.96
	2		5	1.8	3.96
	3		5	1.5	4.9
	4		5	1.5	3.28
9	1	20	3	2.1	4.96
	2		3	2	2.96
	3		3	2.1	3.9
	4		3	1.5	2.28
10	1	20	2	2.1	3.96
	2		2	2	1.96
	3		2	2.1	2.9
	4		2	1.5	1.28

11	1	20	1	3.8	1.96
	2		1	3.7	0
	3		1	3.8	0
	4		1	3.8	0
12	1	20	0	3.8	0
	2		0	3.7	0
	3		0	3.8	0
	4		0	3.8	0

Fuente: Elaboración propia, 2022.

En esta tabla se puede ver los diferentes datos tomados en el proceso de fermentación, la cual desde un principio arrancó en condiciones óptimas por lo que se tuvo un buen desarrollo de este proceso y al concluir, se tuvo los requerimientos necesarios pues se termina la fermentación en el tiempo debido, los grados Baumé ya no se pueden medir debido a que el mostímetro o calibramoto toca fondo en la probeta, esto quiere decir que todo el azúcar se ha convertido en alcohol, ya no existe rastro de azúcar. Dado que los datos de las dos repeticiones resultan ser las mismas que de la muestra original, no se escriben los datos.

#### **2.3.4.7 Filtración**

Se separa el mosto o líquido de las levaduras y nutrientes que se depositan en el fondo del tacho.

#### **2.3.4.8 Destilación**

Se realiza la doble destilación en la torre de destilación discontinua marca UOP3BM a una temperatura de entre 80 a 100°C, donde en la primera destilación se obtendrá las fracciones volátiles, cabeza, cola y corazón que es el aguardiente y en la segunda destilación también en donde las fracciones volátiles y las cabezas y colas serán descartadas. Aquí el aguardiente saldrá transparente.

*Figura 2-7 Proceso de destilación. Reboiler*



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Se obtuvo los siguientes datos para este proceso:

*Tabla II-16 Datos obtenidos en el proceso de destilación*

<b>Muestra</b>	<b>Cantidad l</b>	<b>Caudal cc/min</b>	<b>Potencia Kw</b>	<b>T °C</b>
1	10	3500	0.70	18.5
			0.72	76.6
			0.73	90.4
2	10	3500	0.67	16.0
			0.76	56.2
			0.72	78.0
3	5	3500	0.70	17.2
			0.72	67.0
			0.72	91.4
4	5	3500	0.74	18.4
			0.72	92.0
			0.72	92.2

Fuente: Elaboración propia, 2022.

En esta tabla se muestra los datos obtenidos durante este proceso, destilando cada una de las muestras con su cantidad correspondiente, caudal y potencia suministrada. Se realizó primeramente pruebas para ver las condiciones óptimas para la destilación de



estas muestras, por lo que la cantidad es la óptima y necesaria, con dicho caudal se trabaja bien, la potencia suministrada es la apropiada, siempre teniendo muy en cuenta la temperatura tanto desde la inicial hasta la final, lo mismo para la potencia.

*Figura 2-8 Obtención de aguardiente de maíz.*



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Deseando que sea un producto comerciable a 40°GL, se baja con agua destilada el grado alcohólico de cada muestra de aguardiente que sobrepase esta medida.

#### **2.3.4.9 Envasado**

Se guarda el producto obtenido en botellas de vidrio.

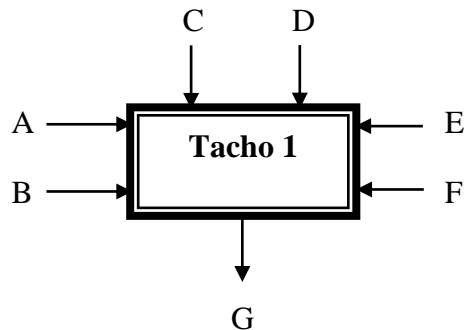
#### **2.3.4.10 Almacenado**

Se almacenan las botellas de vidrio en cajas de plástico teniendo el producto terminado.

## 2.4 Balances de materia y energía

### 2.4.1 Balance de materia en la etapa de fermentación

#### 2.4.1.1 Para el tacho 1



Donde:

A = cantidad de mosto = 35 litros mosto = 35000 gr.

B = cantidad de levadura = 2 sobres de levadura = 23 gr.

C = cantidad de agua = 1 litro 500 ml = 1500 gr.

D = cantidad de azúcar = 6 cucharas = 62 gr.

E = cantidad de agua para el nutriente = 203.3 ml = 203.3 gr.

F = cantidad de nutriente = 20.33 gr.

G = ?

Entonces para el Balance Global:

$$G = A + B + C + D + E + F$$

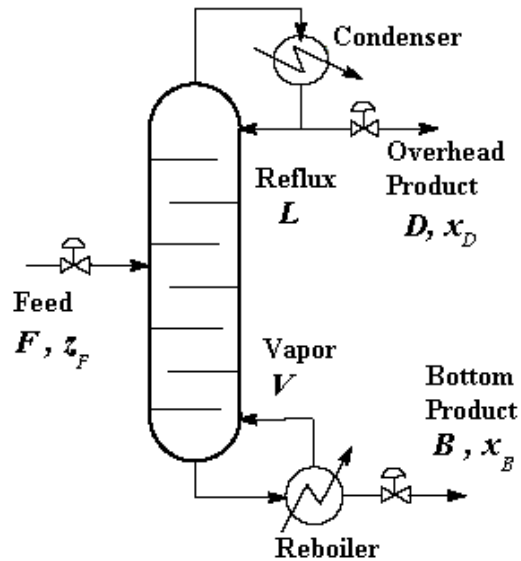
$$G = 35000 \text{ gr} + 23 \text{ gr} + 1500 \text{ gr} + 62 \text{ gr} + 203.3 \text{ gr} + 20.33 \text{ gr}$$

$$G = 36808.63 \text{ gr.}$$

Dado que la muestra 1 es la que da como resultado el mayor contenido de etanol, se realiza el balance de materia de sólo ésta muestra.

### 2.4.2 Balance de energía en la torre de destilación

Figura 2-15 Diagrama esquemático de la torre de destilación



Fuente: [https://www.fceia.unr.edu.ar/isis/columna\\_binaria.html](https://www.fceia.unr.edu.ar/isis/columna_binaria.html).

Teniendo como datos al momento de la destilación:

$T_{\text{entrada al condensador}} (T_{10}) = 80^{\circ}\text{C}$ .

$T_{\text{salida del condensador}} (T_{13}) = 24^{\circ}\text{C}$ .

$T_{\text{salida agua fría}} (T_{12}) = 25.9^{\circ}\text{C}$ .

$T_{\text{entrada agua fría}} (T_{11}) = 23^{\circ}\text{C}$ .

$P_{\text{usada}} = 0.73 \text{ Kw}$ .

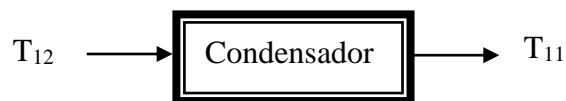
Tiempo total = 5 horas.

Caudal = 3500 cc/min.

Otros datos:

$C_{p_{\text{agua}}} = 1 \text{ cal/gr}^{\circ}\text{C}$  (se obtiene de las tablas del libro Smith-Van Ness cuarta edición).

$C_{p_{\text{alcohol}}} = 4.112 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{K} = -272.16789 \text{ cal/gr}^{\circ}\text{C}$  ( $C_p$  aguardiente).



$$Q_{\text{entregado}} = Q_{\text{aprovechado}} - Q_{\text{pérdidas}}$$

$$Q_{\text{entregado}} = m_{\text{agua}} * C_{\text{pagua}} * \Delta T$$

$$Q_{\text{entregado}} = m_{\text{agua}} * C_{\text{pagua}} * (T_{\text{salida agua fría}} - T_{\text{entrada agua fría}})$$

$$Q_{\text{entregado}} = 412359.2 \text{ gr} * (1 \text{ cal/gr}^{\circ}\text{C}) * (25.9^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C})$$

$$Q_{\text{entregado}} = 1195841.68 \text{ cal.}$$

$$Q_{\text{aprovechado}} = m_{\text{alcohol}} * C_{\text{palcohol}} * \Delta T$$

$$Q_{\text{aprovechado}} = m_{\text{alcohol}} * C_{\text{palcohol}} * (T_{\text{salida del condensador}} - T_{\text{entrada al condensador}})$$

$$Q_{\text{aprovechado}} = 106873.1 \text{ gr} * (-272.16789 \text{ cal/gr}^{\circ}\text{C}) * (24^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C})$$

$$Q_{\text{aprovechado}} = -24609.8825 \text{ cal.}$$

Entonces se tiene que:

$$Q_{\text{entregado}} = Q_{\text{aprovechado}} - Q_{\text{pérdidas}}$$

$$Q_{\text{pérdidas}} = Q_{\text{entregado}} - Q_{\text{aprovechado}}$$

$$Q_{\text{pérdidas}} = 1195841.68 \text{ cal} - (-24609.8825 \text{ cal})$$

$$Q_{\text{pérdidas}} = 1220451.56 \text{ cal.}$$

**CAPITULO III**

**RESULTADOS Y**

**DISCUSION**

### 3.1 Cálculos en las diferentes etapas del proceso

#### 3.1.1 Ingreso y Selección de materia prima

Ingredientes:

- Agua: (4 por parte de cereales) 23 Kg y  $23 \times 4 = 92$  l agua.
- Agua para el lavado: (2 por parte de cereales) 23 Kg y  $23 \times 2 = 46$  l agua.

#### 3.1.2 Fermentación

Para activar la levadura se hace los siguientes cálculos, teniendo como dato que para hacer este procedimiento se usa 750 ml de agua a 38°C para 1 sobre de levadura donde el sobre que se utiliza contiene 11.5 gr:

- Cantidad de agua necesaria para cada muestra:

<b>Tacho 1 y 3</b>
750 ml $\longrightarrow$ 11.5 gr
x $\longrightarrow$ 23 gr
<b>x = 1 litro 500 ml.</b>

<b>Tacho 2 y 4</b>
750 ml $\longrightarrow$ 11.5 gr
<b>x = 750 ml.</b>

- Cantidad de azúcar necesaria para cada muestra:

<b>Tacho 1 y 3</b>
3 cucharas $\longrightarrow$ 11.5 gr
de azúcar
x $\longrightarrow$ 23 gr
<b>x = 6 cucharas.</b>

<b>Tacho 2 y 4</b>
3 cucharas $\longrightarrow$ 11.5 gr
de azúcar
<b>x = 3 cucharas.</b>

Para la fermentación se tiene los siguientes datos complementando con la Tabla I-2 *Tabla de equivalencia entre densidad, grados baumé, grados brix y alcohol potencial. Aplicable solo a mostos o jugos:*

Tabla III-1 *Datos obtenidos finales para la etapa de fermentación*

<b>Día</b>	<b>Muestra</b>	<b>T °C</b>	<b>°Brix</b>	<b>pH</b>	<b>Densidad</b>	<b>°Baumé</b>
1	1	20	12	0.3	1057	12
	2		12	0.1	1057	9.9
	3		12	0.1	1057	10.96
	4		12	0.1	1057	9.1
2	1	20	11	0.3	1053	10
	2		11	0.1	1053	7.9
	3		11	0.1	1053	8.96
	4		11	0.1	1053	7.1
3	1	20	10	0.4	1049	9.48
	2		10	0.1	1049	7.5
	3		10	0.2	1049	8.43
	4		10	0.2	1049	6.55
4	1	20	9	0.4	1045	8.48
	2		9	0.1	1045	6.5
	3		9	0.2	1045	7.43
	4		9	0.2	1045	5.55
5	1	20	8	0.4	1041	8.48
	2		8	0.1	1041	6.5
	3		8	0.2	1041	7.43
	4		8	0.2	1041	5.55
6	1	20	7	1.8	1038	6.96
	2		7	1.5	1038	4.96
	3		7	1.2	1038	5.9
	4		7	1.2	1038	4.28

7	1	20	6	1.8	1034	6.96
	2		6	1.5	1034	4.96
	3		6	1.2	1034	5.9
	4		6	1.2	1034	4.28
8	1	20	5	2.1	1030	5.96
	2		5	1.8	1030	3.96
	3		5	1.5	1030	4.9
	4		5	1.5	1030	3.28
9	1	20	3	2.1	1023	4.96
	2		3	2	1023	2.96
	3		3	2.1	1023	3.9
	4		3	1.5	1023	2.28
10	1	20	2	2.1	1019	3.96
	2		2	2	1019	1.96
	3		2	2.1	1019	2.9
	4		2	1.5	1019	1.28
11	1	20	1	3.8	1015	1.96
	2		1	3.7	1015	0
	3		1	3.8	1015	0
	4		1	3.8	1015	0
12	1	20	0	3.8	1012	0
	2		0	3.7	1012	0
	3		0	3.8	1012	0
	4		0	3.8	1012	0

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Los datos de la densidad son tomados de la Tabla I-2, luego los demás datos son medidos con los instrumentos apropiados para cada uno, los cuales se puede ver en los anexos 2 y 3.



### 3.1.3 Destilación

Al momento de la destilación se tiene ingresando:

Tabla III-2 *Grado alcohólico °GL en la chicha*

<b>Chicha</b>	<b>Grado alcohólico °GL</b>
1	5
2	5
3	5
4	5

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Al terminar el proceso de fermentación, se tiene que cada una de las muestras contiene 5°GL, grado alcohólico, lo óptimo para una chicha.

Al salir:

Tabla III-3 *Datos obtenidos de aguardiente*

<b>Muestra</b>	<b>Mediciones tomadas</b>	<b>Cantidad ml</b>	<b>°Brix</b>	<b>Grado alcohólico °GL</b>
<b>1</b>	Inicial	10000	17.5	53.5
	Final	740	14	<b>41</b>
<b>2</b>	Inicial	10000	18	48
	Final	281.25	14	<b>40</b>
<b>3</b>	Inicial	5000	17.03	48
	Final	187.5	14.9	<b>42</b>
<b>4</b>	Inicial	5000	17.5	50
	Final	185	14	<b>40</b>

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Se puede apreciar la cantidad de aguardiente en ml de cada muestra, lo que responde al diseño factorial de 4 aguardientes finales, el grado alcohólico medido del etanol obtenido como variable respuesta, donde se ve que ingresando para la muestra 1 y 2

se tiene 10000 ml (10 l) de chicha y 5000 ml (5 l) de chicha para las muestras 3 y 4, esta es la cantidad inicial y la cantidad de aguardiente que se tiene de cada muestra es la cantidad final.

Las mediciones de °Brix y grado alcohólico se tomaron 3 veces, anotando como medición inicial la más alta y como la medición final la más baja próxima a los 40°GL.

Como se tiene productos con un grado alcohólico mayor a 40°GL, se baja el contenido a 40°GL con agua destilada, para lo cual, se tiene los siguientes cálculos:

$$\frac{\text{alcohol medido} - \text{alcohol deseado}}{\text{alcohol deseado}}$$

Para:

#### Muestra 1

$$\frac{41-40}{40} = 0.025$$

$$0.025 * 100\% = 2.5\% \text{ H}_2\text{O}$$

$$1000\text{ml} \longrightarrow 100\%$$

$$x \longrightarrow 2.5\%$$

$$x = 25\text{ml.}$$

Para 1 litro de destilado a 41°GL agregar 25ml H<sub>2</sub>O.

#### Muestra 3

$$\frac{42-40}{40} = 0.05$$

$$0.05 * 100\% = 5\% \text{ H}_2\text{O}$$

$$1000\text{ml} \longrightarrow 100\%$$

$$x \longrightarrow 5\%$$

$$x = 50\text{ml.}$$

Para 1 litro de destilado a 42°GL agregar 50ml H<sub>2</sub>O.

A continuación, se muestra el modelo matemático usando el programa **STATGRAPHICS** teniendo como variable respuesta el grado alcohólico.

Tabla III-4 *Análisis de Varianza para Grado alcohólico*

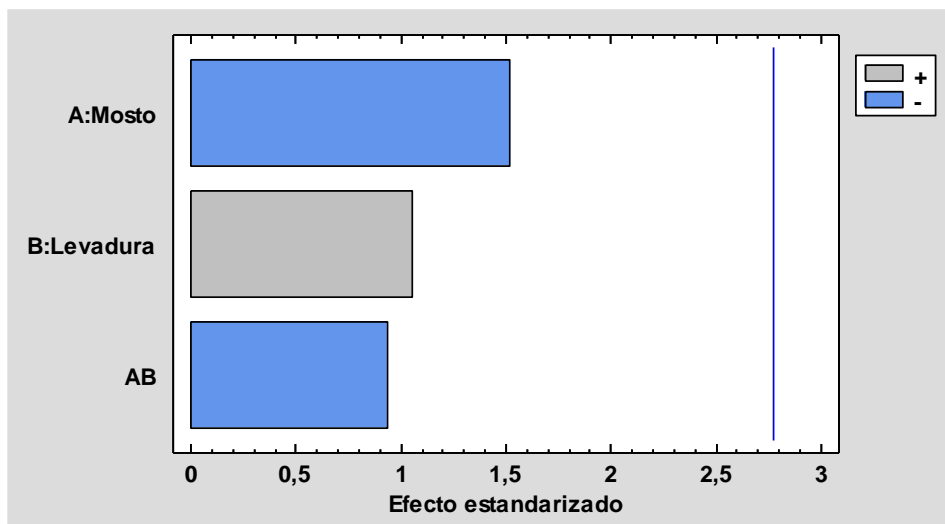
<b>Fuente de varianza (FV)</b>	<b>Suma de cuadrados (SC)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>	<b>Cuadrados medios (CM)</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F Tablas</b>	<b>Grado alcohólico (°GL)</b>
<b>VVA: Mosto</b>	0,845	1	0,845	2,30	0,2040	7,708	41
<b>B: Levadura</b>	0,405	1	0,405	1,10	0,3531	7,708	40
<b>AB</b>	0,32	1	0,32	0,87	0,4036	7,708	42
<b>Error total</b>	1,47	4	0,3675				40
<b>Total (corr.)</b>	3,04	7					

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Esta tabla muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño  $2^2$  en el proceso de fermentación del mosto, donde se tiene como variable A: Mosto, variable B: Levadura y AB: Mosto\*Levadura. Según este análisis de varianza se puede observar que para las variables Mosto, Levadura y la interacción AB, no existe significancia, ya que Valor-P > 0,05 tomando como base que nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ , por lo tanto, no es significativo, además que con el valor de F Tablas que es el valor de F tomado de tablas, se puede notar que este valor, 7,708 es mayor que Razón-F se concluye que está en la zona de aceptación del 95% y que el Valor-P no es significativo, entonces, las variables A y B e interacción de variables A\*B no son significativos en la etapa de fermentación del mosto en el proceso de elaboración de aguardiente de maíz.

A continuación, con la ayuda de una gráfica se podrá apreciar el mismo análisis. La siguiente figura muestra el Diagrama de Pareto estandarizada para las variables analizadas en el diseño factorial. Por lo tanto, el nivel de significancia de las variables e interacciones se determina con la línea vertical de referencia con valor de 3,20, de tal manera si las barras graficadas en el Diagrama de Pareto para las variables A y B e interacción A\*B exceden la línea de referencia, indican que son significativos para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ .

Figura 3-1 Diagrama de Pareto Estandarizada para Grado alcohólico



Fuente: Elaboración propia, 2023.

En esta figura, se puede observar que la variable A: Mosto, la variable B: Levadura y la interacción A\*B: Mosto\*Levadura, no exceden la línea de referencia, por lo tanto, no son estadísticamente significativos para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .

Finalmente se concluye que para los valores utilizados de mosto y levadura no son significativos, es decir, no influyen de gran manera en el proceso.

La siguiente tabla muestra los factores óptimos para el proceso de fermentación del mosto, donde la variable respuesta es el grado alcohólico en °GL.

Tabla III-5 Factores óptimos para el proceso de fermentación del mosto

Factor	Unidad	Bajo	Alto	Óptimo
<b>A: Mosto</b>	l	5,5	35	5,5
<b>B: Levadura</b>	gr	11,5	23	23

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Se concluye que con valores de 5,5 l de mosto y 23 gr de levadura se tendrá un mejor rendimiento.

### 3.2 Cálculo del rendimiento

Se muestra a continuación el cálculo de dos tipos de rendimiento:

$$\mathbf{Rendimiento}_1 = \frac{\mathbf{gr\ alcohol}}{\mathbf{gr\ materia\ prima}}$$

$$m\ alcohol = \circ\ de\ alcohol\ en\ la\ bebida * \rho_{alcohol} * masa\ total$$

$$m\ alcohol = 0.05 * 789\ gr/l * 81\ l$$

$$m\ alcohol = 3195.45\ gr\ alcohol\ en\ todo\ el\ mosto.$$

$$\mathbf{Rendimiento}_1 = \frac{3195.45\ gr}{23000\ gr} * 100\%$$

$$\mathbf{Rendimiento}_1 = 13.89\%.$$

Se tiene como resultado del cálculo del  $\mathbf{Rendimiento}_1 = 13.89\%$  en referencia de la cantidad en gramos de alcohol obtenida de la cantidad que se tiene de materia prima en gramos.

$$\mathbf{Rendimiento}_2 = \frac{\mathbf{litros\ aguardiente}}{\mathbf{litros\ mosto}} * 100\%$$

$$\mathbf{Rendimiento}_2 = \frac{1.394\ l}{81\ l} * 100\%$$

$$\mathbf{Rendimiento}_2 = 1.72\%.$$

Se tiene como resultado del cálculo del  $\mathbf{Rendimiento}_2 = 1.72\%$  en referencia de la cantidad en litros de aguardiente obtenida de la cantidad que se tiene de mosto en litros. Esto es para el alcohol absoluto.

### 3.3 Evaluación sensorial

#### 3.3.1 Definición

El Instituto de Alimentos de EEUU (IFT), define la evaluación sensorial como “la disciplina científica utilizada para evocar, medir analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de alimentos y otras sustancias, que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído”.

El análisis sensorial o evaluación sensorial es el análisis de los alimentos u otros materiales a través de los sentidos. Esta ciencia se ocupa de medir y cuantificar las

características de un producto como son: apariencia, color, olor, sabor y textura tal y como son percibidos por los sentidos humanos.

### **3.3.2 Uso**

El análisis sensorial se puede emplear para muy distintos objetivos:

- Caracterización de los cambios sensoriales en los alimentos o materias primas atribuibles a procesados o a variaciones naturales.
- Distinción entre lotes o proveedores de un mismo producto.
- Decidir si la calidad de un producto determinado puede presentarse por sencillo índice numérico o es multidimensional.
- Clasificar los productos de acuerdo con la calidad establecida.
- Establecer relaciones entre los datos objetivos y la aceptación por parte del consumidor.
- Obtener información sobre la capacidad de discriminación o aceptación de diferentes grupos sociales de consumidores frente a variaciones o nuevos tipos de producto acabado.

### **3.3.3 Tipos de jueces**

- **Juez experto**

El juez experto es, como en el caso de los catadores de vino, té, café, quesos y otros productos; una persona que tiene gran experiencia en probar un determinado tipo de alimento, posee una gran sensibilidad para percibir las diferencias entre muestras y para distinguir y evaluar las características del alimento. Su habilidad, experiencia y criterio son tales que en las pruebas que efectúa solo es necesario contar con su respuesta. (Escalante, 2009).

- **Juez entrenado**

Un juez entrenado es una persona que posee bastante habilidad para la detección de alguna propiedad sensorial o algún sabor o textura en particular, que ha recibido cierta enseñanza teoría y práctica acerca de la evaluación sensorial, y que sabe exactamente lo que desea medir en una prueba. Además, suele realizar pruebas sensoriales con cierta periodicidad. (Anzaldúa, 1994).

- **Juez semientrenado o de laboratorio**

Se trata de personas que han recibido un entrenamiento teórico similar a la de los jueces entrenados, que realizan pruebas sensoriales con frecuencia y poseen suficiente habilidad. Las pruebas con jueces semientrenados deben efectuarse con un mínimo de 10 jueces y un máximo de 20, a lo mucho 25, con tres o cuatro repeticiones por cada juez para cada muestra. (Larmond, 1977).

- **Juez consumidor**

Se trata de personas que no tienen que ver con las pruebas, ni trabajan con alimentos como investigadores o empleados de fábricas procesadoras de alimentos, ni han efectuado evaluaciones sensoriales periódicas. Por lo general son personas tomadas al azar, ya sea en la calle, en una tienda o en una escuela entre otros. (Anzaldúa, 1994).

### **3.3.4 Evaluación sensorial efectuada**

La evaluación sensorial fue realizada por 10 personas en total: 6 jueces de laboratorio en donde se escogió personal docente y de laboratorio y 4 jueces consumidores elegidos entre familia y vínculo cercano. Estas personas se encuentran en un rango de edad de 20-70 años, las cuales probaron el producto Aguardiente de Maíz elaborado, con sus cuatro muestras correspondientes de los cuatro aguardientes obtenidos y evaluaron el color, olor, sabor y consistencia, siendo: 1) Disgusta mucho, 2) Disgusta moderadamente, 3) Disgusta un poco, 4) Ni gusta, ni disgusta, 5) Gusta poco, 6) Gusta moderadamente, 7) Gusta mucho.

Para dicha evaluación, se toma el siguiente formato:

**HOJA DE EVALUACION SENSORIAL  
PRUEBA DE ESCALA HEDONICA VERBAL**

NOMBRE: \_\_\_\_\_ EDAD: \_\_\_\_\_ años

LUGAR: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_ HORA: \_\_\_\_\_

**Indicaciones:** A continuación, encontrará frente a usted cuatro muestras de los cuatro aguardientes elaborados en el proyecto de grado denominado ELABORACION EXPERIMENTAL DE AGUARDIENTE DE MAIZ (*ZEA MAYS, VARIEDAD MOROCHO DE TARIJA*) CULTIVADO EN LA PROVINCIA MENDEZ DEL DEPARTAMENTO DE TARIJA en una torre de destilación discontinua o batch, pruébelas y por favor indique su nivel de agrado colocando el número correspondiente para tal en cuanto a los atributos, de acuerdo con la siguiente escala.

7	Gusta mucho	3	Disgusta un poco
6	Gusta moderadamente	2	Disgusta moderadamente
5	Gusta poco	1	Disgusta mucho
4	Ni gusta, ni disgusta	-	-

Aspecto	Muestra			
	1	2	3	4
Color				
Olor				
Sabor				
Consistencia				

OBSERVACIONES/CONCLUSIONES:

---



---

¡GRACIAS POR SU PARTICIPACION!

Fuente: Elaboración propia, 2022.



En el Anexo 5 Evaluación Sensorial, se muestra el desarrollo de esta evaluación.

Los resultados de esta evaluación son los siguientes:

Tabla III-4 *Resultados de la Evaluación Sensorial*

<b>Muestra</b>	<b>Preferencia</b>
1	✓
2	✓✓✓
3	✓✓
4	✓✓✓✓✓

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Se puede apreciar que según los jueces que deliberaron el producto con sus 4 muestras, la muestra 4 es de su preferencia donde todos escogieron una muestra salvo 1 de ellos que escogió 2 muestras.

**CAPITULO IV**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

#### 4.1 Conclusiones

- Se cumple con el objetivo de elaborar experimentalmente Aguardiente de Maíz destilado (*Zea Mays, variedad Morocho de Tarija*) cultivado en la provincia Méndez del departamento de Tarija en una torre de destilación discontinua o batch.
- Se elabora el Marco Teórico para la elaboración de aguardiente de maíz descrito en el **CAPITULO I MARCO TEORICO**.
- Se caracteriza la materia prima: maíz (*Zea Mayz, variedad Morocho de Tarija*) para la elaboración de aguardiente descrito en anexos, como **Anexo 1 Informe de Caracterización de la materia prima: Maíz Morocho** y **Anexo 6 Caracterización de la materia prima: Maíz Morocho en laboratorio** arrojando este un valor para el contenido de almidón que tiene el maíz utilizado de **72,88 gr/100 gr**.
- Se selecciona el proceso tecnológico e industrial experimental de aguardiente de maíz descrito en el punto **2.3.2 Descripción del Proceso Tecnológico seleccionado**.
- Se diseña y ejecuta la fase experimental para el proceso tecnológico de aguardiente de maíz descrito en los puntos **2.2 METODOLOGIA DEL ESTUDIO** y **2.3 Desarrollo de la parte experimental**.
- Se caracteriza el tipo y calidad del producto obtenido: aguardiente de maíz cultivado en la provincia Méndez del departamento de Tarija descrito en el punto **3.3.4 Evaluación sensorial efectuada** y en el **Anexo 5 Evaluación Sensorial**.
- Se determina el rendimiento del proceso de aguardiente de maíz obtenido descrito en el punto **3.2 Cálculo del rendimiento** dando como resultados  **$Rendimiento_1 = 13.89\%$**  y  **$Rendimiento_2 = 1.72\%$** .
- Se presenta y analiza los resultados obtenidos del proceso de elaboración de aguardiente de maíz donde de los 4 tachos, **la mejor combinación resulta ser la muestra 4** dado que es la de preferencia según la Evaluación Sensorial, la

que se tuvo **mayor cantidad de alcohol fue la muestra 1 con 370 ml** comparando con las demás muestras a 5 l cada una.

- Para la molienda se utiliza un molino de discos para un mejor manejo y control del tamaño del grano de maíz y de la malta al moler, si se quiere bien menudo como casi harina o un poco más grueso como sólo partiendo en pequeños trozos.
- Para la etapa de enfriado del mosto, la temperatura óptima es de 18-22°C, siendo la mejor a **20°C**.
- En caso de que no se esté fermentando bien, se añade nutrientes para levadura para ayudar con la fermentación.
- Se sabe que ha terminado de fermentar cuando las levaduras se depositan al fondo. Por lo general, en diez días ya termina de fermentar el mosto.
- Se debe efectuar una buena limpieza de la torre de destilación pues si llega a haber algún rastro de la anterior destilación llevada a cabo, estos olores pueden juntarse con nuestro producto que estamos obteniendo y salir con una mezcla de olores entre el que se ha realizado y el nuestro, entonces no saldría nuestro producto con su olor característico.
- Si sale turbio el producto obtenido, quiere decir que ya ha terminado de salir el etanol y está saliendo otros alcoholes, así que es mejor el volver a destilar para poder eliminar esos alcoholes y salga solo el etanol.
- Regular la potencia del destilador para mantener la temperatura constante en la destilación.
- Entre más se haga por el reciclado, más concentrado en alcohol estará, es decir, mayor grado alcohólico tendrá, pero menos cantidad saldrá.
- Se concluye que se tuvo un buen proceso de fermentación dado que todo el azúcar que se tuvo se convirtió en alcohol.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Calentar lentamente con una llama muy bajita en el macerado porque si no se quema al instante y si se va calentando muy bajito, también no se pega tanto.

- Para la fermentación se recomienda usar tachos de plástico con sus tapas.
- Se recomienda el uso de un buen agente esterilizante al momento de la desinfección de los materiales para un óptimo resultado.
- Efectuar una buena activación de la levadura pues de esta depende de que se realice bien la fermentación y no haya complicaciones.
- Tomar en cuenta el tiempo de fermentación tomando cada día los diferentes parámetros a considerar para tener una óptima fermentación con buenos resultados.
- Aplicar buenas prácticas de trabajo en fermentación y destilado.
- Adquirir un alcoholímetro digital o un sistema de medición continuo para no requerir tanta muestra y sea más fácil y rápida la lectura.