



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS.

**“EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EN UNA  
CERVEZA UTILIZANDO TRITICALE COMO ADJUNTO (X.  
*Triticosecale Wittmack*)”**

## **TESIS**

QUE COMO TRÁMITE INICIAL PARA LA EVALUACIÓN PROFESIONAL  
DE LA CARRERA DE:

**INGENIERO AGRÓNOMO INDUSTRIAL**

**PRESENTA:**

MAGALY MONROY CRUZ

**ASESORES:**

DRA. MARÍA DOLORES MARIEZCURRENA BERASAIN

DRA. DORA LUZ PINZÓN MARTÍNEZ

**MODALIDAD: TESIS INDIVIDUAL**

Agosto 2019

**CAMPUS UNIVERSITARIO “EL CERRILLO”, EL CERRILLO PIEDRAS  
BLANCAS, MUNICIPIO DE TOLUCA, MÉX.**



## ÍNDICE

|   |             |
|---|-------------|
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....  | <b>v</b>    |
| <b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....  | <b>vi</b>   |
| <b>INDICE DE GRAFICAS</b> .....   | <b>vii</b>  |
| <b>DEDICATORIAS</b> .....   | <b>viii</b> |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b> .....  | <b>ix</b>   |
| <b>RESUMEN</b> .....  | <b>x</b>    |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | <b>xiii</b> |
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....  | <b>1</b>    |
| <b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....                                     | <b>4</b>    |
| 2.1 Historia de la cerveza.....   | 4           |
| 2.1.1 Definición de cerveza.....  | 6           |
| 2.1.2 Definición de cerveza artesanal e industrial.....                     | 6           |
| 2.1.3 Importancia económica actual de la industria cervecera en México..... | 8           |
| 2.1.4 La cerveza artesanal en México .....                                  | 10          |
| 2.2 Cultivo de cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> ).....                       | 11          |
| 2.2.1 Grano de cebada.....  | 12          |
| 2.2.2 Variedades de cebada para la elaboración de cerveza .....             | 14          |
| 2.3 Cultivo de Triticale ( <i>X.Triticosecale</i> Wittmack) .....           | 15          |
| 2.3.1 Principales países productores de Triticale .....                     | 17          |
| 2.3.2 Grano del Triticale .....   | 18          |
| 2.4 Componentes de la cerveza.....  | 19          |
| 2.4.1 Agua .....  | 19          |
| 2.4.2 Malta .....   | 20          |
| 2.4.3 Tipos de maltas cerveceras.....                                       | 21          |
| 2.4.4 Lúpulo .....  | 31          |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.4.5 Levadura cervecera .....   | 32        |
| 2. 5 Cereales utilizados como adjuntos .....                                 | 33        |
| 2.5.1 Consideraciones técnicas .....   | 33        |
| 2.6 Proceso cervecero.....   | 34        |
| 2.6.1 Malteado.....  | 34        |
| 2.6.2 Secado y tostado.....  | 36        |
| 2.6.3 Molturación o molienda .....   | 37        |
| 2.6.4 Maceración.....  | 38        |
| 2.6.5 Aspersión .....  | 41        |
| 2.6.6 Cocción o hervido. ....  | 43        |
| 2.6.7 Enfriamiento.....  | 44        |
| 2.6.8 Fermentación.....  | 45        |
| 2.6.9 Terminación .....  | 49        |
| 2.7 Control de calidad .....   | 50        |
| <b>III. JUSTIFICACIÓN .....</b>  | <b>53</b> |
| <b>IV. HIPÓTESIS.....</b>  | <b>54</b> |
| <b>V. OBJETIVOS.....</b>   | <b>55</b> |
| 5.1 General .....  | 55        |
| 5.2 Específicos .....  | 55        |
| <b>VI. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>  | <b>56</b> |
| 6.1 Lugar de estudio.....  | 56        |
| 6.2 Materias primas para la elaboración de cerveza artesanal .....           | 56        |
| 6.3 Métodos.....   | 57        |
| 6.3.1 Diagrama de flujo de la elaboración de cerveza .....                   | 57        |
| 6.4 Métodos para evaluar las variables Físicas de calidad de la cerveza..... | 61        |
| 6.4.1 Determinación de pH .....  | 61        |

|  |           |
|--|-----------|
| 6.4.2 Determinación de color .....               | 61        |
| 6.4.3 Determinación de densidad .....            | 63        |
| 6.4.4 Determinación de grados Brix (°Brix) ..... | 64        |
| 6.5 Diseño experimental.....                     | 65        |
| <b>VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>         | <b>66</b> |
| 7.1 Densidad.....                                | 68        |
| 7.2 pH.....                                      | 71        |
| 7.3 °Brix .....                                  | 73        |
| 7.4 Color.....                                   | 76        |
| <b>VIII. CONCLUSIONES .....</b>                  | <b>79</b> |
| <b>IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>      | <b>80</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura No. 1</b> Estatuilla de una mujer fabricando cerveza.....                                   | 5  |
| <b>Figura No. 2</b> Fotografía de la planta de cebada (Gonzalo, 2000). .....                          | 12 |
| <b>Figura No. 3</b> Grano de Cebada (Gisbert, 2016).....  | 14 |
| <b>Figura No. 4</b> Cultivo de Triticale (Santoyo y Quiroz, 2010).....                                | 17 |
| <b>Figura No. 5</b> Estructura del grano de Triticale (Arboleda, 2016).....                           | 19 |
| <b>Figura No. 6</b> Proceso de malteado de cebada.....  | 20 |
| <b>Figura No. 7</b> Malta Pilsner.....  | 21 |
| <b>Figura No. 8</b> Malta Pale.....   | 22 |
| <b>Figura No. 9</b> Malta vienna.....   | 23 |
| <b>Figura No. 10</b> Malta munich.....  | 24 |
| <b>Figura No. 11</b> Malta caramel.....   | 25 |
| <b>Figura No. 12</b> Malta de chocolate.....  | 26 |
| <b>Figura No. 13</b> Malta Roasted barley.....  | 27 |
| <b>Figura No. 14</b> Malta de trigo.....  | 28 |
| <b>Figura No. 15</b> Malta de centeno.....  | 29 |
| <b>Figura No. 16</b> Malta de avena.....  | 30 |
| <b>Figura No. 17</b> Malta negra.....   | 31 |
| <b>Figura No. 18</b> Sistemas para la germinación del grano en torre.....                             | 36 |
| <b>Figura No. 19</b> Molino de malta con rodillos ajustables.....                                     | 38 |
| <b>Figura No. 20</b> Sistemas de maceración alternativos.....   | 41 |
| <b>Figura No. 21</b> Aspersión del mosto sobre el lecho de granos.....                                | 42 |
| <b>Figura No. 22</b> Sistema para la elaboración del hervido del mosto.....                           | 43 |
| <b>Figura No. 23</b> Sistema de enfriamiento de mosto.....  | 45 |
| <b>Figura No. 24</b> Fermentación en tanque, alta (superior derecha) o baja (superior izquierda)..... | 49 |
| <b>Figura No. 25</b> Diagrama de flujo de la elaboración de la cerveza.....                           | 57 |
| <b>Figura No. 26</b> Escala de color de cerveza (Mebak, 2012).....                                    | 62 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|  |    |
|--|----|
| <b>Cuadro No.1</b> Características fisicoquímicas de las cervezas analizadas para las variables densidad, pH, °Brix y color (EBC). ..... | 67 |
|--|----|

## INDICE DE GRAFICAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Grafica No 1</b> Valores de densidad en cerveza..... | 70 |
| <b>Grafica No 2</b> Valores de pH en cerveza.....       | 71 |
| <b>Grafica No 3</b> Valores de °Brix en cerveza.....    | 74 |
| <b>Grafica No 4</b> Valores de color en la cerveza..... | 77 |

## RESUMEN

### **“EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EN UNA CERVEZA UTILIZANDO TRITICALE COMO ADJUNTO (X. *Triticosecale* Wittmack)”**

Magaly Monroy Cruz Ingeniero Agrónomo industrial. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas.

Asesores: <sup>1</sup>Dra. María Dolores Mariezcurrena Berasain <sup>2</sup>Dra. Dora luz Pinzón Martínez.

1. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus Universitario el Cerrillo, el Cerrillo Piedras Blancas Mpio. De Toluca. Código postal 50200. Tel (fax) 2- 96-55-29 y 2-96-55-3.

Nekkane16@hotmail.com.mx.

2. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus Universitario el Cerrillo, el Cerrillo Piedras Blancas Mpio. De Toluca. Código postal 50200. Tel (fax) 2- 96-55-29 y 2-96-55-3.

El triticales (X *Triticosecale* Wittmack) un híbrido del trigo (*Triticum aestivum* L.) y del centeno (*Secale cereale*). Producido importantemente en el Estado de México y utilizado principalmente, para fines forrajeros. Sin embargo, diversos estudios han demostrado la capacidad nutricional (alto contenido de fibra) y las potencias industriales de éste cereal.

En el presente trabajo se realizó un estudio para determinar los parámetros fisicoquímicos de pH, color, densidad y grados °Brix para caracterizar un total de 5 cervezas, embotelladas en volúmenes distintos. Los análisis se realizaron en un periodo de tres meses, comprendidos entre noviembre-diciembre 2018 y enero 2019. Durante la investigación se analizó todas las partidas de cerveza.

Los resultados mostraron que en el caso de los parámetros fisicoquímicos estudiados, existieron diferencias estadísticamente significativas ( $P \geq 0.05$ ) entre la mayoría de las cervezas estudiadas. La variable de pH se encontró en un rango de 4,41 y 4,71. La cerveza con el valor de pH más alto fue la cerveza industrial corona clara la cual, tuvo 4.89. Este valor se encontró dentro del rango óptimo para la fermentación por la levadura, mientras que la cerveza de zarzamora obtuvo el valor más bajo de pH siendo de 3.29.

Para la variable de color, se encontraron resultados entre 7,67 y 15,05 °EBC (European Brewing Convention). Para los °Brix, en las cervezas que mostraron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) estadísticamente significativas fueron Indio y corona clara, que presentaron los menores valores de 5.7 y 6 °Brix, respectivamente. La cerveza con el valor mayor de °Brix fue la cerveza de zarzamora con 10.63 °Brix, seguida por la cerveza de Triticale, con un valor de 8.36 °Brix. La cerveza elaborada con triticale como adjunto en la presente investigación, mostró una calidad similar a la cerveza Hilarious, una cerveza artesanal que ya se posiciona en el mercado local.

Lo cual, la sugiere como un presunto producto apto para su comercialización.

**Palabras clave:** Triticale (*X Triticosecale* Wittmack), cebada (*Hordeum vulgare*) y parámetros fisicoquímicos.

## ABSTRACT

### "EVALUATION OF PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS IN A BEER USING TRITICALE AS ATTACHMENT (X. *Triticosecale* Wittmack)"

Magaly Monroy Cruz Industrial Agronomist Engineer. Autonomous Mexico  
State University. Faculty of Agricultural Sciences.

Advisors: <sup>1</sup>Dra. Maria Dolores Mariezcurrena Berasain <sup>2</sup>Dra. Dora Luz  
Pinzón Martínez.

1. Autonomous University of the State of Mexico. Faculty of Agricultural  
Sciences. Campus El Cerrillo, Cerrillo Piedras Blancas Mpio. From Toluca.

Postal code 50200. Tel (fax) 2- 96-55-29 and 2-96-55-3.

Nekkane16@hotmail.com.mx

2. Autonomous University of the State of Mexico. Faculty of Agricultural  
Sciences. Campus El Cerrillo, Cerrillo Piedras Blancas Mpio. From Toluca.

Postal code 50200. Tel (fax) 2- 96-55-29 and 2-96-55-3.

Triticale (X *Triticosecale* Wittmack) is a wheat (*Triticum aestivum* L.) and rye (*Secale cereale*) hybrid that is produced in an important performance in Mexico State, Mexico, mainly as fodder cereal. However, several research have been registered where, triticale has shown nutritional capacity (High fibre content) either its industrial potential. In the present research several physicochemical parameters (pH, colour, and density and Brix grade) have been studied in order to compare five different commercial and Craft Beer

qualities (Blackberry and Lager craft beer), including one triticale as adjunct craft beer done in this project. Analyses were done for three months period from November 2018 to January 2019. All beer used were analyzed by triplicate. Physicochemical results suggested statistical significant differences ( $P \geq 0.05$ ) for all the beers studied. pH values were from 4,41 to 4,71 and the highest pH value was found in the commercial clear beer corona (4,89). This pH value is reported as fermentation beer yeast pH value. Blackberry beer presented the lowest pH values (3, 29).

°EBC (European Brewing Convention) colour variable was reported from 7, 67 to 15, 05 values. Beers with statistical significant differences ( $P \geq 0.05$ ) for °Brix parameter were clear Indio and Corona beers, which presented the lowest values with 5, 7 and 6, 0, respectably. Blackberry craft beer was the °Brix highest value found (10, 63), followed by triticale craft beer with a 8, 36 °Brix value. Triticale craft beer was similar to Hilarious craft beer which, indicated it as a good craft triticale beer option.

**Key words: Triticale (X Triticosecale Wittmack), barley (Hordeum vulgare) and physicochemical parameters.**

## I. INTRODUCCIÓN

Se conoce como cerveza a la bebida alcohólica, que se obtiene mediante la fermentación de malta de cebada (*Hordeum vulgare*) (Cebada germinada). Tradicionalmente la cebada es el grano del cual, se obtiene la malta cervecera, sin embargo la cerveza puede elaborarse a partir de otros granos como, trigo (*Triticum aestivum* L.), centeno (*Secale cereale*), triticale (X *Triticosecale* Wittmack) y arroz (*Oryza sativa*). Los ingredientes primordiales para la fabricación de la cerveza son agua, lúpulo y levaduras. La elaboración de la cerveza comprende seis pasos, el primero de ellos es el malteado del grano, seguido por la maceración, cocción, fermentación, maduración y carbonatación. Las condiciones de tiempo y temperaturas en cada paso y durante todo el proceso pueden variar dependiendo del estilo de la cerveza y de cada fabricante. La graduación alcohólica en algunas cervezas puede alcanzar cerca del 30.0% en volumen, aunque las cervezas más populares suelen tener una graduación entre 4.0% y 9.0%. Dicha característica hace de la cerveza una bebida estimulante cuando se consume con moderación (Rodríguez, 2013).

De acuerdo con el tipo de malta utilizada y el proceso de fermentación (Alta o baja), hay una gran variedad de cervezas como Ale, Porter, Stout, Pilsner, Bock, entre otras. Existen parámetros de calidad que deben observarse en una cerveza terminada. Los cuales, pueden ser visuales y fisicoquímicos, entre los más importantes están: la graduación alcohólica, color, densidad,

pH, °Brix y turbidez, estos parámetros deben cumplir valores determinados para que la cerveza se considere lista para consumo (Barrios, 2013).

Hasta hace no muchos años el consumo de cerveza se reducía a un mercado que se caracterizaba por el consumo masivo de cerveza rubia tipo *Lager* (Pilsner) de baja fermentación producida a gran escala con procesos estandarizados. Esta situación ha cambiado recientemente con la aparición de la cerveza artesanal. La cual, ha introducido una nueva variedad de, estilos, colores, sabores y aromas debido a la diversidad de lúpulos, maltas y variedades de granos utilizados como el sorgo (*Sorghum* spp.), triticale (*Triticosecale* Wittmack), trigo (*Triticum aestivum* L.) o centeno (*Secale cereale*). Lo cual, ha hecho que la cerveza artesanal tome auge como producto gastronómico que se ha ido introduciendo en el mercado. De esta manera, se encuentra a lo largo de toda la geografía nacional, los pequeños productores con marcas locales, así como, pequeñas producciones para el autoconsumo, como la punta de lanza en la elaboración y comercialización de cerveza artesanal. Además, es frecuente que hoy en día encontrar en bares y restaurantes una gran variedad de cervezas artesanales (García, 2002).

El triticale (*X. Triticosecale* Wittmack), es un cereal, creado por el hombre, que proviene de la cruce entre trigo y centeno, el triticale se caracteriza por tener mayores rendimientos que sus progenitores y que cebada. Así mismo, se adapta muy bien a suelos pobres de nutrientes y zonas de baja precipitación, tiene una menor susceptibilidad a las enfermedades y plagas

reduciendo la necesidad de fertilizaciones costosas y protección química contra agentes nocivos (Oettler, 2005).

Además de las ventajas agronómicas, el triticale (*X. Triticosecale* Wittmack) puede usarse como materia prima en la elaboración de cerveza. Algunas líneas de triticale contienen altos niveles de actividad amilolítica, incluso mayor que la del grano de cebada. La alta actividad de  $\alpha$ -amilasa de triticale tiene un lado positivo para el malteado y fabricación de cerveza, usando las mismas condiciones que cebada, esta característica se ha aprovechado para evaluar al triticale en el proceso de obtención de mostos cerveceros, utilizándolo como adjunto y como malta. Por esto y por la baja temperatura de gelatinización del almidón (54 °C), el triticale es capaz de degradar su propio contenido de almidón con eficiencias mayores a las de la malta de cebada y proporcionar azúcares reductores para la fermentación alcohólica (Glatthar, 2002).

El objetivo del presente trabajo fue realizar una evaluación de los parámetros físicos de una cerveza de cebada utilizando triticale (*X. Triticosecale* Wittmack) como adjunto, y su comparación con cervezas comerciales (de cebada) y con otras cervezas artesanales.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Historia de la cerveza

La cerveza es una de las bebidas más antiguas del mundo, junto con el vino. Desde hace miles de años el ser humano disfruta de todo tipo de cervezas, sabores y colores. Los sumerios hacían cerveza e incluso dejaron registros escritos sobre la elaboración de este producto. Ellos preparaban su propia cerveza, tomaban pan hecho con harina de trigo, lo cortaban en pedazos y metían esos pedazos en vasijas a las cuales les agregaban agua, dejando dichas vasijas al sol durante varios días (Fálder, 2006).

Los orígenes de la cerveza, datan en el antiguo Egipto, la cual, era una especie de cerveza obtenida de la fermentación de la cebada, llamada así vino de cebada. La mención más antigua de la cerveza, se hace en una tabla de arcilla en lengua sumeria de 4, 000 a. C. de. En la edad media, nació la “cervisa monacarum” cerveza de los monjes con denominación de origen, guardado por fraile boticario. Quienes, lograron mejorar el aspecto, sabor, y roma de la bebida. En el siglo XVI el duque de Raviera Guillermo IV promulga la primera Ley de la cerveza Alemana que prescribía el uso exclusivo de levadura de fabricación, malta de cebada, agua y lúpulo. Surgiendo así, las primeras grandes factorías cerveceras (Margueron, 2002).

La auténtica época dorada de la elaboración de la cerveza comenzó a finales del siglo XVIII, con la máquina, junto con el descubrimiento de una nueva fórmula de fabricación en frío junto con los aportes de Louis Pasteur sobre

las reacciones de fermentación. Según cronistas, la cerveza alcanzó por primera vez al nuevo continente en el año 1544 con la construcción de la primera cervecería cerca de la Ciudad de México por el conquistador Alfonso de Herrera. En la Figura No. 1 se muestra una antigua figurilla de una mujer fabricando cerveza (Margueron, 2002).



**Figura No. 1** Estatuilla de una mujer fabricando cerveza (Margueron, 2002).

### **2.1.1 Definición de cerveza**

La cerveza es una bebida natural obtenida de la fermentación alcohólica de un extracto acuoso de cebada malteada llamado mosto, las materias primas principales para la fabricación de cerveza son; malta de cebada, agua, levadura y lúpulo (Hough, 2001; Ferrán-Lamich, 2002).

En la práctica de la cervecería es común que en la mayoría de las cervezas comerciales se utilice una fuente adicional de hidratos de carbono que habitualmente es un cereal no malteado, llamado adjunto, esto con la finalidad de mejorar las condiciones de fabricación. Otros aditivos nos permiten intensificar y uniformizar el color del producto final también pueden ser agregados (antioxidantes, estabilizante de espuma, colorantes). El proceso de fabricación de la cerveza se basa esencialmente en el malteado controlado del grano de cebada para permitir la posterior extracción acuosa de un mosto azucarado; a éste mosto al que se le adiciona el lúpulo y se somete a un proceso de fermentación alcohólica con la levadura cervecera y finalmente, se acondiciona para su envasado y expedición (Hough, 2001; Ferrán-Lamich, 2002).

### **2.1.2 Definición de cerveza artesanal e industrial**

**Cerveza artesanal:** El significado de artesanal es: hecho a mano, muchos de los procesos en la elaboración son manuales y los que no, son realizados con intervención de la maquinaria, donde el instrumento principal en ellas es el

saber hacer, la experiencia y el conocimiento en la ejecución del artesano (Hernandez, 2004).

La cerveza artesanal tiene su origen a finales de la década de los 70 en el Reino Unido, con una generación de pequeñas cervecerías que se enfocaba a la producción tradicional de cervezas Ale de fermentación alta, ésta cervecería fue nombrada como “microcervecería” o *Brewpubs*. Aunque originalmente el término microcervecería fue utilizado para describir el tamaño de las cervecerías, gradualmente paso a reflejar una actitud y un enfoque alternativo a la flexibilidad en la producción de cerveza adaptabilidad y atención al cliente (Leach, 2017).

La industria de la cerveza artesanal a nivel global basa su producción en la ley de la pureza Alemana, que dicta que para que una cerveza sea considerada como artesanal, tiene que estar compuesta únicamente por agua, malta, lúpulo y levadura. Así mismo su producción total por cervecería debe ser de menor a 7 millones de barriles al año, conducirse con independencia y tener únicamente capital familiar, es decir, no ser parte de una cervecería transnacional. En la actualidad las microcervecerías han adoptado una estrategia de mercadotecnia diferente a las cervecerías industriales, ofreciendo productos que compiten según su calidad y diversidad, en lugar de precios bajos y publicidad (Leach, 2017).

**Cerveza industrial:** Una cerveza industrial es aquella producida a gran escala con tecnología de punta, ya que no se pueden realizar a mano los

procesos industriales de gran escala. El término industrial significa que se usan grandes plantas de fabricación, con grandes lotes de materias primas. Todo para llevar al mercado una gran cantidad de producto, imposible de conseguir en una producción artesanal. Para ello se usan grandes maquinarias, grandes cadenas de fabricación, su producción depende de la demanda y su venta se hace mediante publicidad enfocada en emociones y a ciertos nichos de mercados, tales como jóvenes emprendedores, viajeros, entre otros (Herrera, 2003).

### **2.1.3 Importancia económica actual de la industria cervecera en México**

México se ha convertido en una potencia cervecera, es el primer exportador de cerveza desde hace muchos años y también es el cuarto productor, con un 21.0% de los envíos a nivel internacional, seguido por Holanda con un 14.4%, Bélgica, que ostenta el 11%, y Alemania tiene 9.9%. México exporta 33 millones de hectolitros a mercados extranjeros. En 2016, se vendieron 32 millones de hectolitros lo cual, representó un marcado crecimiento de 2.8% (Leach, 2017).

En el primer lugar se encontró a la república de China, con 449 millones de hectolitros; después a Estados Unidos, con 219 millones de hectolitros; Brasil con 129 millones de hectolitros. Finalmente, México reportó 110 millones de hectolitros; y Alemania, con 94 millones de hectolitros. En nuestro país, la producción de cerveza involucra la actuación de diversos sectores productivos a través de la cadena de valor: tales como agricultores,

transportistas, restaurantes, así como, lugares de consumo como los conocidos bares, junto con diversos puntos de venta. Dichos puntos se han mencionado como los responsables del crecimiento exponencial de la industria cervecera. Actualmente, la cerveza mexicana tiene presencia en más de 180 países, lo que convierte a nuestro país en su principal exportador mundial, con 19.9% de participación en el mercado y aproximadamente 2,500 millones de dólares en ventas, y cuarto lugar en producción a nivel mundial (Leach, 2017).

En 2016 se exportaron a los Estados Unidos 17.98 millones de hectolitros (el 82% de las exportaciones totales). Los principales destinos para la exportación de la cerveza mexicana son Estados Unidos, Australia, Chile, Canadá, Reino Unido y Brasil. En cuanto a la producción del sector cervecero, en ese año se situaron 77.9 millones de hectolitros. Lo cual, indicó un crecimiento de 7.3% respecto al mismo periodo del año anterior. En este mismo lapso, las exportaciones del sector crecieron 13% con respecto a 2015, alcanzando los 24.5 millones de hectolitros, lo que significa la generación de 55,000 empleos directos y 2.5 millones indirectos. En nuestro país, la producción de cerveza domina el mercado de las bebidas alcohólicas, al representar más del 80% del total de las ventas de este sector, en términos de valor (Hernández, 2004).

#### **2.1.4 La cerveza artesanal en México**

A mediados de los años 90 nació, en el centro del país, la primera cervecera mexicana artesanal, al mismo tiempo que los grandes corporativos industriales nacionales se encargaban de conquistar el mercado internacional. En 1995, surge la primera cerveza tipo *A/e* (de fermentación alta) en la Ciudad de México, inspirada en las cervezas estadounidenses. Los establecimientos cervecería-restaurante, que naturalmente requerían de una inversión más fuerte, aparecieron en Monterrey y en la Ciudad de México en 1996 y 1997, respectivamente. Con la entrada del nuevo milenio surgieron más emprendedores que fusionaron estilos y crearon algunos otros, todos ellos con ambiciosos planes de expansión. Algunos de ellos son ahora de las cerveceras independientes más importantes en términos de capital y distribución (Herrera, 2003).

A partir del 2011, la industria presentó un crecimiento sostenido, que ha llevado a México a ser el principal exportador a nivel mundial de cerveza artesanal. El verdadero auge de esta industria sucedió a partir de 2013 con la resolución de la Comisión Federal de Competencia Económica (COFECE) sobre la no exclusividad en la distribución de cerveza. En 2017, la industria artesanal incrementó sus ventas a 166,069 hectolitros, con un incremento de 59.0% en las ventas como indicó Acermex (Asociación de Cerveceros de la República Mexicana (Herrera, 2003).

## **2.2 Cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*)**

Es una planta anual de la familia de las Gramíneas, parecida al trigo, con cañas de más de 6 dm, espigas prolongadas, flexibles, un poco arqueadas, y semilla ventruda, puntiaguda por ambas extremidades y adherida al cascabillo, que termina en arista larga. Sirve de alimento a diversos animales, principalmente (Gonzalo, 2000).

Es la principal materia prima de la industria cervecera y la mayoría de la que se cultiva en México es maltera, que se emplea en la fabricación de la cerveza y whisky, la malta también es utilizada como sustituto del café por su valor nutritivo, en cuanto a contenido de proteína, fibra y energía utilizable. Lo cual, la posiciona como un intermedio entre el maíz y la avena. También se caracteriza por su carencia de xantofilas, que son pigmentos fotosintéticos (carotenoides) responsables de los colores amarillos, anaranjados o rojos, presentes en los alimentos vegetales. Presenta un contenido de aminoácidos limitantes es similar a la de trigo y avena, diferenciándose del maíz y sorgo por un mayor contenido en lisina y triptófano. En la Figura No. 2 se muestra una fotografía de la planta de cebada (Gonzalo, 2000).



**Figura No. 2** Fotografía de la planta de cebada (Gonzalo, 2000).

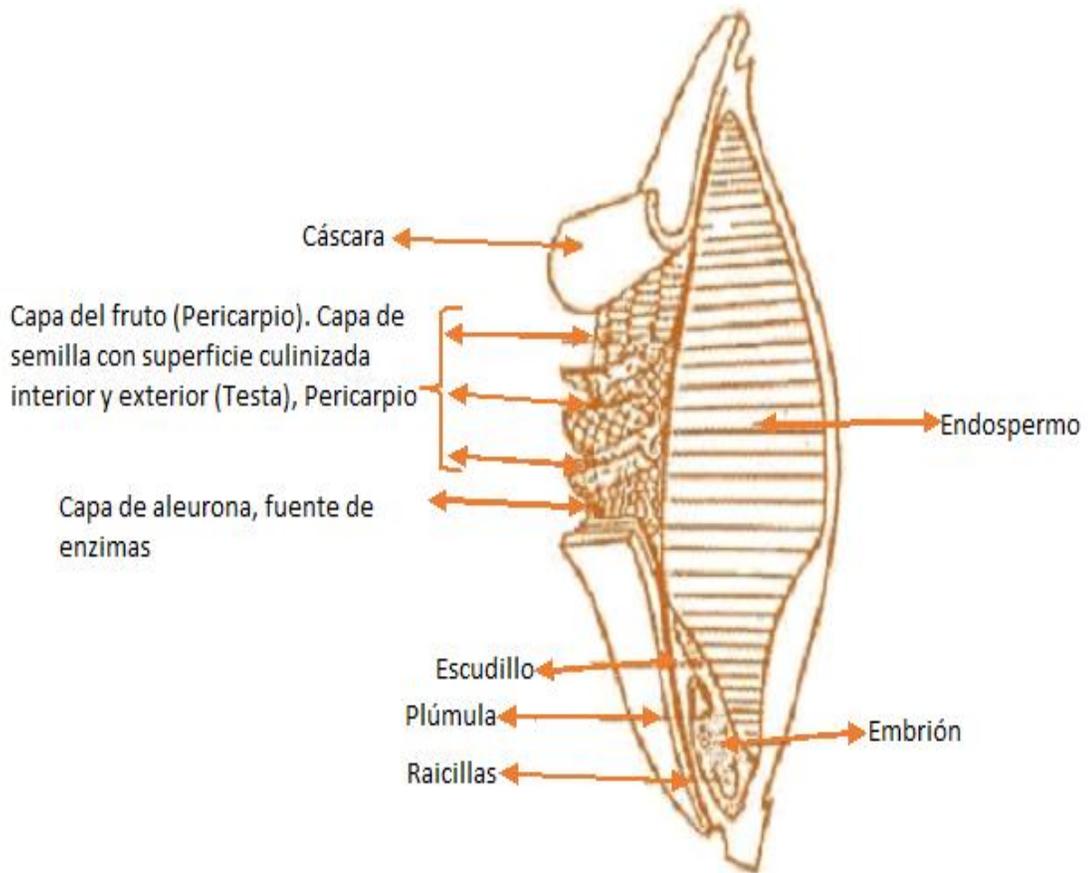
### **2.2.1 Grano de cebada**

El grano de cebada se divide en tres partes, cáscara, embrión o germen y el endospermo, es la reserva de la planta conteniendo almidon duro e insoluble. Este cereal posee una cáscara que protege al pericarpio, endospermo y germen, se utiliza para la alimentación humana, como materia prima para la alimentación animal, la obtención de la malta y la fabricación de cerveza y en la elaboración de whisky (Watson y Dallwitz, 2008).

El tegumento exterior denominado pericarpio, y el interior o testa; ambos están formados por capas celulares. La testa es semi permeable permite se

difunda el agua, pero no deja pasar ninguna sal. Las dos partes esenciales del grano son el embrión y endospermo o albumen. Éste primero, posee un apéndice que se denomina escudete, el cual está en íntima relación con el endospermo y es el órgano de absorción del embrión, a través del cual llegan a éste durante la germinación las materias nutritivas acumuladas en el endospermo. El endospermo está formado por una masa de células de paredes delgadas que contienen los granos de fécula envueltos en una sustancia plasmática y adherida unas a otras por una sustancia aglutinante que es un carbohidrato (Watson y Dallwitz, 2008).

En el endospermo del grano se encuentran las reservas del almidón, las cuales son hidrolizadas, para obtener los azúcares fermentables. La molturación de los granos, debe asegurar la rotura longitudinal del grano, es decir, desde el micrópilo hasta la barba. Este micrópilo es precisamente el precursor de la raíz, cuya formación es la que produce, como subproductos las enzimas utilizadas en la maceración. En la Figura No. 3 se muestra la estructura del grano de cebada (Gisbert, 2016).



**Figura No. 3** Grano de Cebada (Gisbert, 2016).

### 2.2.2 Variedades de cebada para la elaboración de cerveza

La cebada (*Hordeum vulgare*) es una planta gramínea anual, originaria de Asia occidental, representada por dos especies: *Hordeum distichum* comúnmente llamada cebada cerevecera y *Hordeum hexastichon* que se usa como forraje, es un cereal de gran importancia para la alimentación de los humanos y animales. La cebada cerevecera, es un cereal de invierno, en nuestro país se siembra a partir de mayo y se cosecha desde noviembre (Bothmer, 2003).

De los cereales cerveceros, la cebada, es sin duda es la principal, se cultiva principalmente en climas templados; y como todas las plantas, su variedad depende de la época de siembra, de florecimiento, del regadío y del suelo. No todas las variedades de cebada son óptimas para la elaboración de la cerveza. Se utilizan, las denominadas cebadas cerveceras, aptas para ser malteadas (Gisbert, 2016).

Este tipo de granos presentan una serie de peculiaridades para ser propuestos en la fabricación de cerveza:

**FÍSICAS:** El grano debe ser grueso, uniforme, debe estar libre de infecciones y cascarilla debe ser fina.

**BIOQUÍMICAS:** El grano debe absorber bien el agua y germinar rápida y uniformemente, otorgando la mayor cantidad de malta posible.

### **2.3 Cultivo de Triticale (*X. Triticosecale* Wittmack)**

La palabra triticale, proviene de los términos latinos *Triticum* (trigo) y *Secale* (centeno), que proviene de la cruce entre trigo y centeno. El cual, ha tenido mayor desarrollo para el alimento animal, por la buena calidad del grano y los favorables rendimientos de materia seca comparados con otros cultivos de grano fino. Es utilizado para pastura estacional de invierno y para un doble propósito (pasto y grano forrajero) (Lewin, 2001).

Muestra propiedades cerveceras ya que las características de este cereal son importantes y poseen sus propias enzimas para degradar el almidón, que considerablemente disminuyen costo. Por lo cual, no es necesaria la aplicación de enzimas exógenas. Algunas líneas de triticale poseen altos niveles de actividad amilolítica que pueden ser usadas para la sacarificación de otras materias primas. También contiene enzimas proteolíticas que son importantes para la degradación del grano (Lloyd, 1986).

En combinación con bajo rango de gelatinización del almidón (53 a 64 °C), el triticale podría ser usado en el macerado con los intervalos usados para la malta de cebada. En este momento, el grano de triticale es utilizado en mezclas de harina de trigo sin gluten fuerte, en la elaboración de diferentes tipos de panes, la manera del uso que se le da a nivel productor es semejante al del trigo. Es utilizado a nivel industrial como ingrediente en la elaboración de alimentos balanceados, para bovinos para producción de carne y leche, ovinos, cerdos y aves. En la Figura No. 4 se muestra el cultivo del triticale (Santoyo y Quiroz, 2010).



**Figura No. 4** Cultivo de Triticale (Santoyo y Quiroz, 2010).

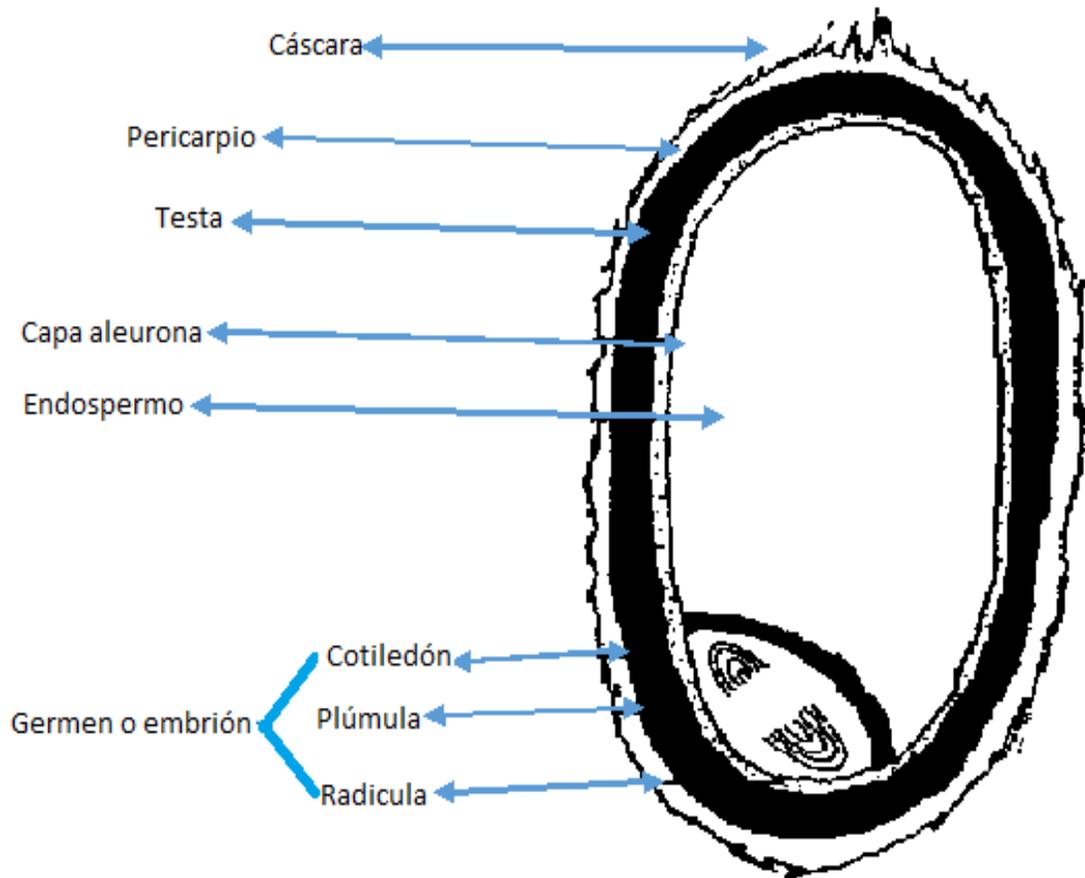
### **2.3.1 Principales países productores de Triticale**

En el Estado de México pasó en el último año de 400 hectáreas a más de 14 mil, con una producción por predio de entre 25 y hasta 35 toneladas de materia seca destinada, en su mayoría al forraje de los animales. Los principales países productores de este cultivo son Alemania, Francia Polonia, Australia y China. De acuerdo con datos de la FAO, en 2005 se cosecharon 13.5 millones de toneladas de Triticale en 28 países alrededor del mundo (Bernard, 2002).

### **2.3.2 Grano del Triticale**

El tamaño, forma y color del grano de Triticale se asemeja mucho al grano de trigo que al de centeno, aunque sus granos son más grandes y más largos que los de trigo con un color ligeramente más oscuro. Presentan una típica apariencia arrugada principalmente en su zona ventral. Sin embargo, los estudios de microscopía óptica y electrónica han demostrado que el arreglo y tamaño del pericarpio, capa de aleurona, y estructuras endospermales del grano son similares a las del trigo y centeno (Arboleda, 2016).

El almidón está presente únicamente en el endospermo, la fibra cruda está reducida, casi exclusivamente al salvado la proteína se encuentra por todo el grano. La mitad de los lípidos se encuentran en el endospermo, la quinta parte en el germen y el resto en el salvado, la aleurona es más rica en lípidos que el pericarpio y testa. Más de la mitad de los minerales están presentes en el pericarpio, testa y aleurona. En la Figura No. 5 se muestra la estructura del grano de Triticale (Arboleda, 2016).



**Figura No. 5** Estructura del grano de Triticale (Arboleda, 2016).

## 2.4 Componentes de la cerveza

### 2.4.1 Agua

Es la materia prima de mayor cantidad que se utiliza en la producción de cerveza, ya que es el 85 % de la composición final del producto. Participa a lo largo de todo el proceso cervecero, desde los momentos iniciales de mezclado con la malta y en el macerado, hasta en la limpieza del equipo.

Las propiedades del agua empleada influirán en el proceso y sabor de la cerveza, un agua básica o neutra hará que la maceración requiera más tiempo y ejerce un notable resultado en el producto final (Gorostiaga, 2008).

El agua con bajas concentraciones de sales minerales es conforme para la manufactura de cerveza y favorece en gran medida en gusto final de la cerveza (Broderick, 2007).



**Figura No. 6** Proceso de malteado de cebada.

#### 2.4.2 Malta

Aporta los elementos nutritivos esenciales que configuran el cuerpo, espuma y color de la cerveza. Se obtiene por la germinación de los granos de cebada, que se humedecen hasta alcanzar su punto óptimo que es 45% de humedad. Luego mediante un secado con aire caliente se frena el proceso de germinación reduciendo su humedad hasta 4-6% aproximadamente. Depende del tipo de secado las características de la malta y el color final de la cerveza, secados a temperaturas altas se denomina “tostado”. El mosto azucarado producido a partir de la malta se fermenta y se transforma en alcohol y maltas cerveceras anhídrido carbónico para luego ser herbido con lupulo y madurado para obtener la cerveza (Hough, 2001).

### 2.4.3 Tipos de maltas cerveceras

**Pilsner:** Es la malta más suave de todas, le da a la cerveza un sabor que oscila entre lo dulce y granulado, la malta pilsner se puede utilizar en muchos otros tipos de cerveza. En la Figura No. 7 se muestra la malta pilsner (Garrido, 2001).



**Figura No. 7** Malta Pilsner.

**Pale:** La malta pale se parece mucho a la pilsner, la diferencia entre ambas radica en el tiempo de horneado, lo que le da a las cervezas un sabor muy cercano al del pan, se usa en las cervezas tipo ale. En la Figura No. 8 se muestra la malta pale (Garrido, 2001).



**Figura No. 8** Malta Pale.

**Vienna:** La malta Vienna es más oscura que la Pale, y se utiliza para hacer cervezas amber, tales como la Bock o la Oktoberfest. En la Figura No. 9 se muestra la malta vienna (Garrido, 2001).



**Figura No. 9** Malta vienna.

**Munich:** La malta munich es el doble de oscura que la vienna, y a pesar de que no lo parece por su tonalidad ámbar, se utiliza en cervezas con un sabor un poco más pesado que la pilsner, pale o vienna. Muchos cerveceros utilizan esta malta por su sabor acaramelado con pequeños acentos de tostado y nueces. En la Figura No. 10 se muestra la malta munich (Hough, 2001).



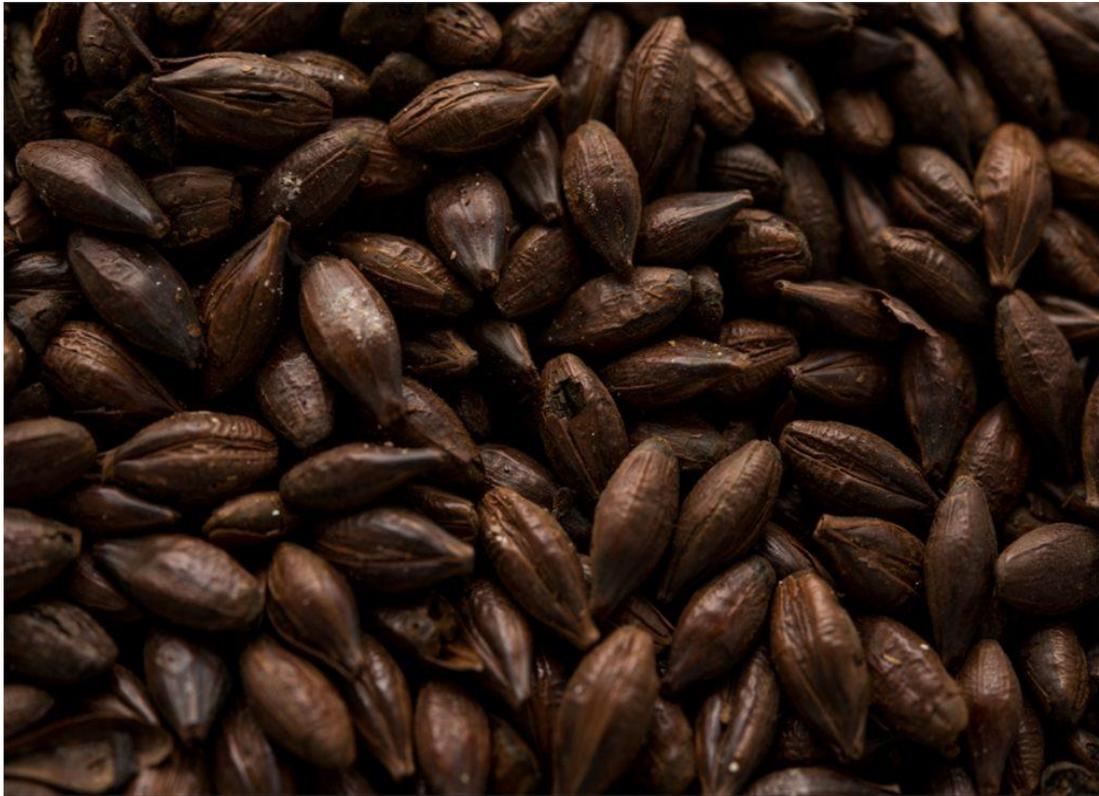
**Figura No. 10** Malta munich.

**Caramel:** Las maltas acarameladas son bastante utilizadas, para cervezas ligeras como las pale ales, como tambien para las que son un poco más fuertes como las dark ales, pero las cervezas que se caracterizan por utilizar esta malta son las ales inglesas, las stouts, y las porters. En la figura No. 11 se muestra la malta caramel (Garrido, 2001).



**Figura No. 11** Malta caramel.

**Chocolate:** La malta de chocolate es la que más utilizan los cerveceros, ya que su leve amagura le da un sabor que se asemeja bastante al cacao. Muchas stouts y porters utilizan este tipo de malta, para un sabor mucho más pesado y fuerte. En la Figura No. 12 se muestra la malta de chocolate (Hough, 2001).



**Figura No. 12** Malta de chocolate.

**Roasted barley:** Este tipo de malta se utiliza en las stouts, ya que le da un sabor profundo y tostado a la cerveza. Las stouts irlandesas, tales como la Guinness, son las que más utilizan este tipo de malta. En la Figura No. 13 se muestra la malta roasted barley (Hough, 2001).



**Figura No. 13** Malta Roasted barley.

**Trigo:** La malta de trigo se utiliza mucho por sus proteínas, ya que éstas ayudan a que la cerveza obtenga sabores inusuales, como por ejemplo el sabor a plátano o a clavo. En la Figura No. 14 se muestra la malta de trigo (Hornsey, 2000).



**Figura No. 14** Malta de trigo.

**Centeno:** el centeno se da en lugares con condiciones climáticas desfavorables por eso, su uso en la cerveza se da en lugares fríos, como Rusia o Finlandia. De hecho sus cervezas tradicionales de estos dos países son hechas a base de este tipo de malta. En la Figura No. 15 se muestra la malta de centeno (Hornsey, 2000).



**Figura No. 15** Malta de centeno.

**Avena:** La malta de avena se utiliza para realzar la textura de la cerveza, ya que ayuda a crear una profunda experiencia en el paladar que oscila entre lo cremoso y sedoso. Las cervezas stouts y las pale ales son las que más la utilizan. En la Figura No. 16 se muestra la malta de avena (Hornsey, 2000).



**Figura No. 16** Malta de avena.

**Malta negra:** Esta malta es amarga, e inclusive quemada, justo por eso se utiliza en cervezas para paladares más especializados. Por lo general se utiliza para añadir profundidad y complejidad a la cerveza, ya que ayuda a balancear los sabores dulces propios de cualquier cerveza. En la Figura No. 17 se muestra la malta negra (Garrido, 2001).



**Figura No. 17** Malta negra.

#### **2.4.4 Lúpulo**

El lúpulo "*Humulus lupulus*" es una planta trepadora del género *Humulus*, de la familia de las Cannabáceas, de un sabor amargo, que se encarga de estabilizar la espuma de la cerveza. La parte de la planta que se utiliza es la flor femenina sin fecundar (Hough, 2002 y Franco, 2014).

El lúpulo se añade en diferentes proporciones de manera que forme el sabor amargo y aroma dependiendo del tiempo que el lúpulo este en contacto con el mosto en ebullición. La principal característica del lúpulo en cervecería es por la sustancia lupulina (gránulos de color amarillo que se encuentran en la flor) que contienen ácidos amargos, que otorgan el sabor de amargo. Los

cuales, se oxidan y polimerizan reduciendo su amargor, estos fenómenos son acelerados por el oxígeno, temperatura, y humedad que intervienen en el proceso de cocción del mosto (Franco, 2014).

#### **2.4.5 Levadura cervecera**

La que se utiliza en la industria cervecera pertenece a la familia Endomiceteaceas del reino de los hongos, y a la subfamilia *Saccharomycetaceae* y al género *Saccharomyces*. Este elemento es el encargado de transformar, durante la fermentación, los azúcares del mosto en alcoholes (Hough, 2002). En este género se distingue dos especies *Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces uvarum* o *carlsbergensis*, clasificadas según el tipo de fermentación producen en:

**Levadura de alta fermentación (cervezas Ale):** Pertenece a *S. cerevisiae* se encuentra normalmente en los tallos de los cereales y en la boca de los mamíferos. Se caracteriza por fermentar más fácilmente a temperaturas altas (15-25 °C), la levadura sube a la superficie del tanque final de su fermentación (Gorostiaga, 2008).

**Levadura de baja fermentación (cerveza lager):** pertenece a *S. uvarum* (*carlsbergensis*). Es una variedad descubierta involuntariamente por los cerveceros alemanes que sometían sus cervezas a una maduración a bajas temperaturas. Se caracteriza por fermentar a temperaturas más bajas (5-15 °C) y depositarse en el fondo del tanque de fermentación al acabar (Gorostiaga, 2008).

## **2.5 Cereales utilizados como adjuntos**

### **2.5.1 Consideraciones técnicas**

Los adjuntos son aquellas materias primas que sustituyan parcialmente a la malta, o al extracto de malta en la elaboración de cerveza. Su empleo no podrá ser en su conjunto superior al 45% en relación al extracto primitivo. Se consideran adjuntos cerveceros a la cebada cervecera y a los cereales, malteados o no, aptos para el consumo humano. La principal consideración es la cantidad de extracto de carbohidratos provisto por el adjunto y la cantidad de materiales nitrogenados extraídos (Lloyd, 1986).

La harina de los granos de maíz (*Zea mays*), arroz (*Oryza sativa*) y cebada (*Hordeum vulgare*) aportan poco nitrógeno soluble al mosto, mientras que la harina de trigo contribuye aproximadamente con la mitad del extracto respecto a la malta de cebada. Para las proporciones más altas de adjunto con altos contenidos de almidones, se usa una malta altamente diastática. Si los porcentajes de cereales adjuntos superan el 50%, es probable que sea necesaria la adición de enzimas comerciales durante el macerado, y también lo es si se usan maltas de actividad enzimática insuficiente con adjuntos en el rango de 30-50% (Hough, 2002).

La extracción de carbohidratos de los adjuntos ricos en almidón implicará la realización primeramente de la gelatinización del almidón, solubilización y posteriormente, su amilólisis. Por ejemplo, algunas erosiones superficiales o picaduras de los gránulos de almidón a menudo se completarán antes de la

gelatinización general y los granos gastados siempre contendrán una pequeña proporción de almidón no gelatinizado. Las temperaturas de gelatinización dependen principalmente de las especies botánicas y de los tamaños de los gránulos de almidón dentro de la especie (Hough, 2002).

En la elaboración de la cerveza, se considera que si el almidón de un cereal pueda producir suficientes azúcares fermentables directamente en el mosto empleando los mismos regímenes de temperatura que se usan para las maltas, si esto no da una extracción satisfactoria, el cereal adjunto tendrá que precocinarse en una etapa de procesamiento anterior llamada descamación o “torrefying”. Alternativamente, puede cocinarse en un recipiente separado en la cervecería junto con una pequeña proporción de la malta antes de agregarla al mosto principal (Lloyd, 1986).

## **2.6 Proceso cervecero**

Consiste en una serie de pasos, el primero es el proceso de malteo del grano de cebada y concluyendo con la maduración de la cerveza y análisis de calidad, a continuación se describe cada uno (Gisbert, 2016).

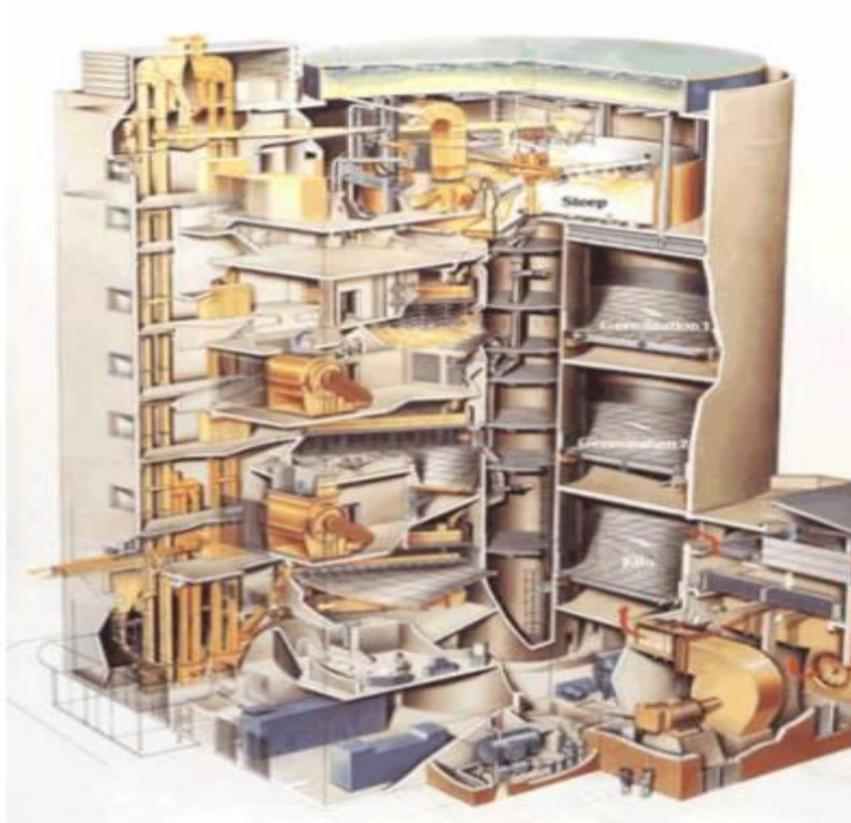
### **2.6.1 Malteado**

Es el proceso a través del cual los granos desarrollan los enzimas necesarios para el posterior proceso de maceración. Para ello, necesitan tener un grado de humedad próximo al 45% lo cual se consigue sometiendo a las semillas a procesos de remojado; con agua a 16 °C y a los procesos de drenado; en los

cuales se deja el grano al aire, minimizando los posibles cambios bruscos de temperatura (Hornsey, 2000).

Alternando la exposición al aire y agua se evita que los granos consuman todo el oxígeno del agua de remojo con lo que detendrían su proceso de germinación. Industrialmente se puede llevar el proceso sobre el suelo de grandes almacenes y se va regando el grano con agua y se va removiendo con palas o rastrillos, con el objetivo de que los granos inferiores no acumulen todo el calor desprendido durante la aparición de la raicilla (Hough, 2001).

En las industrias más modernas se recurre a germinadores de torre, que reaprovechan el agua y el calor de cada una de las etapas de forma muy eficiente. Por el contrario, si se disponen de pocos medios, poco espacio y el proceso se va a llevar a cabo a pequeña escala, bastará con una cuba donde se dejarán las semillas sumergidas unas 8 h y en aireación durante unas 12 horas, en la Figura No. 18 se muestra un sistema para la germinación de grano (Collini y Perez, 1999).



**Figura No. 18** Sistemas para la germinación del grano en torre.

### **2.6.2 Secado y tostado**

Las semillas germinadas o malta son transportadas hasta el molino. La molienda puede ser seca o húmeda. Se recurre al secado para eliminar la mayor cantidad de agua de los granos para una humedad próxima al 5 % esto sirve para prolongar los tiempos de almacenado del grano si no se va a moler inmediatamente después de germinar (Hornsey, 2000).

Asimismo, el tostado también es empleado para reducir la cantidad de agua de los granos pero a la vez que se le da una cierta tonalidad al grano que puede ir desde su color original hasta un color marrón oscuro. Con lo cual, el

objetivo que se persigue con el tostado es otorgar sabores diferentes a los granos, lo cual posteriormente dará una cerveza con un sabor más amargo y/o un color mas oscuro (Hornsey, 2000).

### **2.6.3 Molturación o molienda**

La finalidad de la molienda es la producción de partículas de pequeño tamaño que puedan ser rápidamente atacadas por los enzimas en la cuba de maceración. La molienda ideal podría resumirse como:

- No deben quedar granos sin moler.
- La mayoría de las cascarillas deben partirse de extremo a extremo.
- El endospermo (reservas de almidón) debe quedar libre de la cascarilla.  
Homogeneizar el tamaño del endospermo.
- Minimizar la cantidad (<10 %) de harina (Vogel, 2001).

Industrialmente se emplean los molinos de rodillos ajustables. Existen alternativas caseras como la utilización de morteros, batidoras, molinillos de café o como último recurso se puede colocar el grano dentro de una bolsa y golpearlo enérgica y repetidamente contra el suelo, en la Figura No. 19 se muestra gráficamente un molino de rodillos utilizado comunmete para la mliende de la malta (Huxley, 2002).



**Figura No. 19** Molino de malta con rodillos ajustables.

#### **2.6.4 Maceración**

En la maceración, los cereales, se introducen en una cuba y se agrega agua previamente acidificada hasta un pH de 5.5. La cantidad de agua se basa en una relación de tres litros de agua por kilo de cereales. Esta mezcla remueve hasta que se forma una pasta consistente. El proceso más simple es precalentar el agua hasta los 70 °C temperatura que descenderá hasta los 65 °C (temperatura de trabajo óptimo de los enzimas) al introducir el grano, el cual se deja durante una hora y media o dos horas según si quedase o no almidón en el mosto (Vogel, 2001).

Los enzimas son los responsables del hidrólisis de los azúcares contenidos en el grano. Se trata de biocatalizadores que encuentran su actividad favorecida a determinadas temperaturas, en este caso, y para las enzimas de interés los rangos están comprendidos entre 55 y 68 °C de modo que, para la realización de la mejor maceración, es decir, aquella que asegure la máxima conversión en glúcidos fermentables, se trabaja en estos márgenes

de temperaturas. Los perfiles térmicos del macerado deben escogerse en función del material a utilizar, así como, de las propiedades de la cerveza a producir o en función de la actividad enzimática que se desee priorizar (Tintó *et al.*, 2002).

Industrialmente, los procesos de malteado son largos y su único fin es la generación de enzimas, por esta razón muchas empresas emplean enzimas ajenas al grano que son inoculadas al inicio de la maceración, con lo que tiempo total del proceso se ve reducido lo cual se traduce en mayores producciones y en menores tiempos, lo cual supone mayores beneficios (Tintó *et al.*, 2002).

Los principales enzimas del proceso los podemos encontrar la tabla IV donde se facilitan los nombres comunes de las enzimas, así como, su código por el que son conocidas internacionalmente (Tintó *et al.*, 2002).

La  $\alpha$  amilasa, la amilo glucosidasa y la pululanasa son enzimas cuya función es transformar los azúcares pesados (almidón) en glucosa y otros azúcares fermentables. Los efectos de la beta glucanasa y de la xilanasa se aprecian en las propiedades físicas del producto final, ya que hidrolizan los coloides que se encuentran en el fluido reduciendo así su viscosidad. Las proteasas afectan directamente al proceso productivo y se emplean para controlar la captación del nitrógeno de los aminoácidos por parte de la levadura, es decir, que controlan el crecimiento de la biomasa. Y, por último, se acelera el proceso de maduración de la cerveza verde (Huxley, 2002).

Los parámetros cinéticos de las enzimas es una información muy valiosa para la industria bioquímica, pero pueden conocerse de forma muy aproximada si se plantean una serie de ensayos en los que, fijando la cantidad de sustrato y de enzima, con lo cual, midiendo el tiempo de reacción y analizando los productos con un espectrofotómetro o con un HPLC se determinarían dichos parámetros (Collini y Perez, 1999).

Las enzimas como la mayoría de las proteínas, son muy sensibles a los cambios de temperatura y a los de pH, condiciones que pueden llegar a desnaturalizarlas haciendo que pierdan sus propiedades conformacionales y por tanto que dejen de participar en las actividades metabólicas pertinentes (Vicente, 2016).

Lo mas importante es mantener la temperatura el tiempo pertinente, lo cual supone recurrir a aislamientos efectivos ya que calentamiento prolongado supondrá la caramelización de la malta (Tintó *et al.*, 2002).

Los sistemas alternativos a las cubas de acero utilizadas en la industria pueden ser:

1. El doble cubo que separara las dos fases de la maceración.
2. El “plato falso” que actuara a modo de colador.
3. Un cubo con una red de tela o acero (Tintó *et al.*, 2002).



**Figura No. 20** Sistemas de maceración alternativos.

Sin embargo, industrialmente no valen este tipo de alternativas y siempre se debe trabajar con equipos de acero inoxidable en los que el sistema de drenado suele ser casi siempre el del plato falso. (Tintò *et al.*, 2002).

### 2.6.5 Aspersión

El objetivo de este proceso, es recircular el mosto varias veces a través del grano, de esta forma se consigue arrastrar cualquier traza de glucidos que pueda haber quedado retenida en el grano a la vez que se va clarificando el mosto (Huxley, 2002).

Posteriormente se repite el proceso, con agua caliente (70 °C) de esta forma se propaga la concentración de azúcares en el extracto. Ha de tenerse la precaución de no usar agua nunca mayor a 80 °C, para no extraer sustancias perjudiciales para el sabor de la cerveza como dextrinas o taninos. La aspersion se suele realizar con canalizaciones de acero perforadas o con aspersores industriales, aunque se puede improvisar con piezas de ducha o de jardinería, en la Figura No. 21 se muestra gráficamente el proceso de aspersion (Collini y Perez, 1999).



**Figura No. 21** Aspersion del mosto sobre el lecho de granos.

### 2.6.6 Cocción o hervido.

Cuando se obtiene el mosto, el cual, es un líquido dulce, de color caramelo (aunque dependerá del grado de tostado del grano y del tiempo de aspersion) se procederá con una cocción, a temperaturas de ebullición durante 90 min. En dicho tiempo se añade el lúpulo y el Irish Moss. Para este paso se puede inocular el lúpulo directamente sobre el mosto y en seguida filtrarlo o añadirlo mediante recipientes de acero inoxidable perforado o con sacos de tela (Hornsey, 2000).



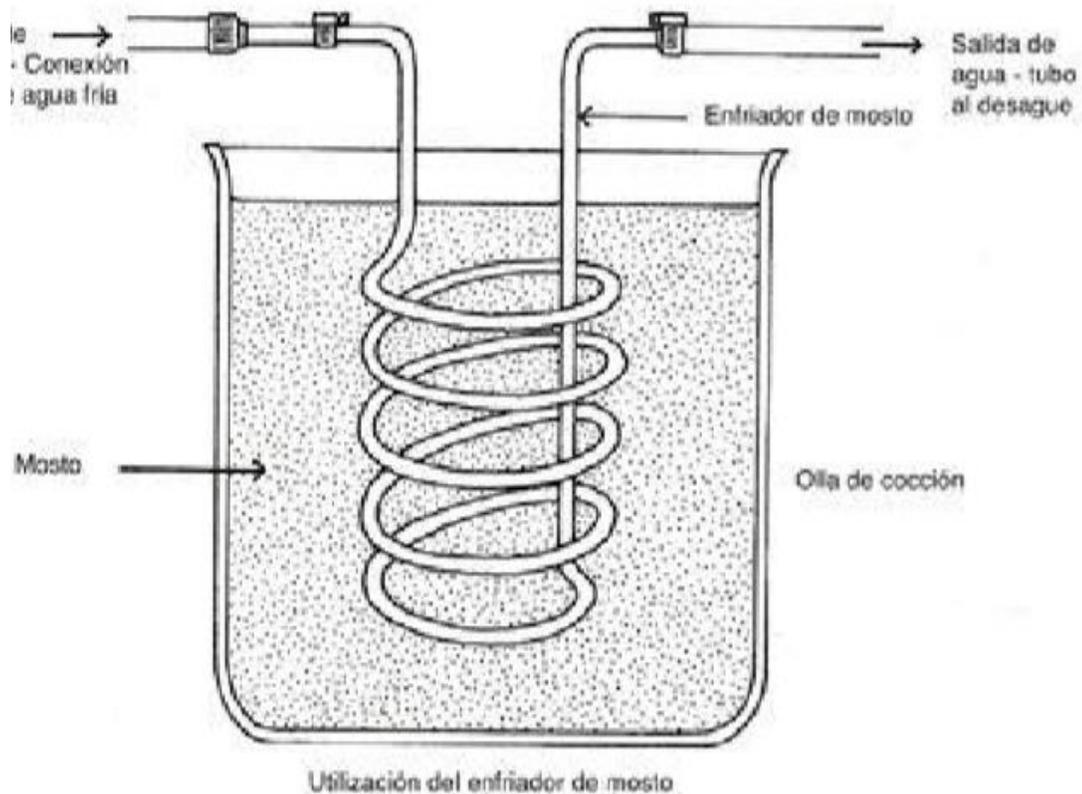
**Figura No. 22** Sistema para la elaboración del hervido del mosto.

### 2.6.7 Enfriamiento

El enfriamiento del mosto se realiza mediante un sistema de refrigeración en un intercambiador de hélice por el que fluye agua a 20 °C en el caso de las levaduras *A/e*, sin embargo, se realiza también a 8°C si se va a utilizar una *Lager* (Huxley, 2002).

Una vez la disolución alcance el valor deseado, ya se podrá inocular la levadura sin riesgo, ya que a temperaturas más elevadas, se detendría el crecimiento de las levaduras recientemente inoculadas y se afectaría así, a la fermentación (Huxley, 2002).

El sistema más empleado industrialmente es el del serpentín de acero inoxidable a través del cual, se circula agua fría. En las empresas grandes, se recurre a gases como el nitrógeno líquido. Su opción son los tanques con camisa, pero el funcionamiento es el mismo, en la Figura No. 23 se muestra un esquema del sistema de enfriamiento del mosto (Tintò *et al.*, 2002).



**Figura No. 23** Sistema de enfriamiento de mosto.

### 2.6.8 Fermentación

El mosto una enfriado inicia la etapa de fermentación. Aunque la cantidad de levadura inicial sea un valor propio de cada empresa, la variación en el inóculo hará variar el resultado final. Si la cantidad inicial es insuficiente, se produce una fermentación inicial lenta que alarga el proceso, con las consecuentes repercusiones económicas que esto supondrá (Hornsey, 2000).

Por otro lado, un exceso de levadura en la siembra supondrá una competición por los nutrientes, lo que suele producir un desarrollo de la biomasa pobre y

favorece la aparición de ésteres, que producen mal sabor en la cerveza (Hough, 2001).

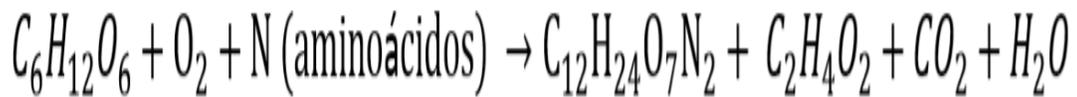
Durante la fermentación se forma calor que puede llevar al metabolismo de las levaduras a la generación de subproductos indeseables; además de existir riesgo de infección. Así, se utilizan, intercambiadores de hélice por los que fluye agua a la temperatura que precisa la levadura. La fermentación *Lager* requiere ambientes especialmente fríos, por lo que en muchas fábricas instalan estos tanques, en sótanos o cualquier otro lugar fresco y sin humedad para mantener estable la baja temperatura del proceso. Si no es posible, el intercambiador de calor constará de una camisa por la que fluirá nitrógeno, agua o incluso gases (Vogel, 2001).

La fermentación se compone de, aproximadamente, de unas 2000 reacciones químicas. Para el correcto ajuste de la reacción, debemos tener en cuenta que las relaciones entre los productos y los reactivos son valores celosamente salvaguardados por las industrias cerveceras.

De modo que la reacción básica (simplificada) quedaría de la siguiente forma:



El metabolismo de la levadura produce el etanol en condiciones anaerobias y al trasvasar el mosto al fermentador, se añade una porción de aire cuyo oxígeno aunque esencial para que las células sintetizen esteroides y ácidos grasos insaturados; compuestos que forman las membranas celulares y por tanto, completamente forzosa durante la fase de crecimiento de la biomasa. Igualmente, se puede llegar a producir ácido acético que otorga a la cerveza de un olor y un sabor desagradable, tal y como queda reflejado en la siguiente reacción: (Vogel, 2001).

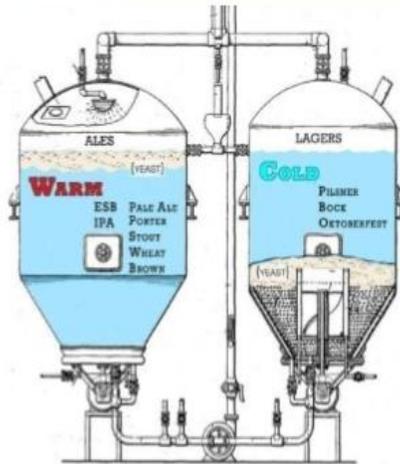


Las primeras fermentaciones de las que se tiene constancia, se realizaban en discontinuo y se realizan en depósitos metálicos o de piedra. Industrialmente siempre se trabaja con fermentadores de acero inoxidable cuyo proyecto ha sufrido algunas permutaciones desde su comienzo, todos ellos destinados a la mejora del proceso, hasta que se ha llegado a la producción de cerveza en continuo. Las principales características con las que debe contar este tipo de equipamiento son de fondo plano, una salida para la extracción de la cerveza y alguna forma de refrigeración para conservar la temperatura (Baxter, 2004).

Artesanalmente, la fermentación se lleva a cabo en una cuba con un cierre hermético al que se añade la trampa de aire ('airlock'). Un recurso

frecuentemente utilizado son las damajuanas de vidrio o de plástico que permiten observar que está aconteciendo en su interior, siempre y cuando se asegure mantener el régimen de temperaturas del proceso (Baxter, 2004).

Una vez transcurridos los 4-5 días para las Ale o los 7-8 días de la *Lager*, la cerveza debe completar una serie de pasos hasta su terminación. El primero de ellos es, su segunda fermentación, para ello se elimina la biomasa generada durante la primera fermentación y se hace un nuevo inóculo con levadura fresca. De esta forma se consigue un mejor producto, ya que la levadura elimina la mayoría de las sustancias perjudiciales formadas durante la primera fermentación. Esta segunda fermentación, la cual, puede realizarse dentro de un segundo reactor, en otra damajuana o, como es el caso de algunas cervezas o inclusive en la propia botella. En la Figura No. 24 se muestra gráficamente el proceso de fermentación (Baxter, 2004).



**Figura No. 24** Fermentación en tanque, alta (superior derecha) o baja (superior izquierda).

### 2.6.9 Terminación

Al llegarse al punto máximo de la fermentación, se transfiere a la cuba de maduración, donde, a la temperatura adecuada según el estilo la cerveza madura y produce mayor volumen de gas carbónico. Los procesos que se incluyen en la terminación son: (Hornsey, 2000).

- A. *Afinamiento del sabor*: La levadura elimina la máxima cantidad de productos indeseables que se hayan podido formar destacando entre ellos los compuestos sulfurados, así como del acetaldehído y del diacetilo. Se trata de un proceso metabólico lento, que recibe el nombre de purga (Vogel, 2001).
- B. *Clarificación de la cerveza*: El producto de la fermentación posee gran cantidad de células de levadura, las cuales, deben aminorarse en cantidad con el fin de evitar cualquier potencial problema sanitario o de aspecto final. La clarificación de la cerveza reside en un almacenado estático para proporcionar la eliminación del excedente de levadura, por medio de la sedimentación. La supresión no debe ser prematura o
- C. *Estabilización*. Se necesita que el producto tenga una vida útil prolongada, y que el producto no sufra cambios al salir de la unidad de proceso. Uno de los mayores problemas que se presenta en la industria cervecera es la turbidez del producto. El material responsable de ella, se precipita junto con la levadura durante el estacionamiento a baja temperatura y así, se logran apreciar dos tipos de turbidez (Baxter, 2004).

## **2.7 Control de calidad**

Un aspecto importante a tener en cuenta para los cerveceros es cómo mantener la calidad de la cerveza. Por esto es trascendental que el producto sea consistente, es decir que las distintas cargas o lotes de producto sean lo más parecidas, entre sí, que sea posible, de forma que, si un cliente que probó una cerveza determinada y que por resultado resultara de su agrado,

cuando éste la consuma nuevamente, pueda en una segunda ocasión a encontrar esa cerveza y no otra diferente (Collini y Perez, 1999).

Para poder lograr esto, se trabaja con 3 aspectos críticos de calidad.

- Fisicoquímica
- Microbiológica
- Sensorial (Collini y Perez, 1999).

Para ello se deben llevar a cabo minuciosos registros de las condiciones de las cocciones, fermentaciones y envasado. Estos registros van a tener que influir de una forma u otra en los tiempos, temperaturas, materias primas y sus cantidades. Los controles influyen directamente sobre el producto final, las empresas analizan:

- pH
- Densidad
- Temperatura
- Test del mosto
- Tinción de Yodo
- Espectrofotometría
- Recuento celular
- CO<sub>2</sub>
- Análisis sensorial
- Vida de anaquel (Baxter, 2004).

Un comentario aparte merece el tema de evaluación sensorial. Para prácticamente la totalidad de las cervecerías medianas y/o pequeñas, el análisis sensorial será la herramienta de análisis más poderosa a su alcance. Mediante ella, contando por supuesto con el entrenamiento adecuado, se podrían detectar compuestos en concentraciones, que por pequeñas que sean (ppm), serían detectables por el maestro cervecero (Hughes, 2005).

Entre diferentes tipos de pruebas existen algunas que se realizan al mosto utilizado para estimar la calidad microbiológica en frío. Otra posibilidad en el análisis de la levadura, es el conteo donde se añade una pequeña cantidad de levadura en una rejilla y se cuenta el número de individuos que hay en un cuadro de esta forma se puede suponer cuantos individuos habrá en toda la rejilla para finalmente conocer los aspectos, en toda la colonia de levadura (Gisbert, 2016).

### III. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto se llevó a cabo con el objetivo de evaluar una cerveza artesanal elaborada con Triticale (X. *Triticosecale* Wittmack) como adjunto ya que su sabor con la finalidad de iniciar el camino de hacerla un producto poco usual en el mercado. Con la finalidad de potencializar y respaldar el uso del Triticale como una materia prima apta para la elaboración de más de este tipo de productos.

Con el uso de los resultados de esta investigación se pretende incrementar la demanda del cultivo de triticale, y además de que el cereal no sea exclusivamente para el área harinera y de forrajes de animales, si no también, para otra clase de productos como es el caso de la cerveza, lo cual podría hacer que se aprovechara la producción existente.

La información generada mediante el análisis fisiscoquímico realizado a la presente cerveza, así como a de cebada (cerveza comercial) se comparó con la cerveza de cebada y otras cervezas. El reporte de la calidad de las cervezas artesanales a partir de éste cereal como adjunto, puede generar información base en beneficio de quienes quieran impulsar la creación de microempresas, y así transferir la tecnología adecuada para la elaboración de cerveza artesanal a partir de Triticale.

#### IV. HIPÓTESIS

Los parámetros fisicoquímicos de una cerveza de cebada, utilizando Triticale (X. *Triticosecale* Wittmack) como adjunto, son iguales a otras cervezas industriales o artesanales, elaboradas a base de cebada (*Hordeum vulgare*) o con otros adjuntos, que se encuentran en el mercado.

## V. OBJETIVOS

### 5.1 General

- Evaluar los parámetros fisicoquímicos de una cerveza de cebada usando Triticale (*X.Triticosecale* Wittmack) como adjunto.

### 5.2 Específicos

- Elaborar una cerveza de cebada usando Triticale (*X.Triticosecale* Wittmack) como adjunto.
- Analizar la calidad de la cerveza elaborada en términos de color, grados Brix, pH y densidad.
- Comparar los parámetros fisicoquímicos obtenidos de la cerveza usando Triticale (*X.Triticosecale* Wittmack) como adjunto, con dos cervezas comerciales y dos cervezas artesanales.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Lugar de estudio

La siguiente investigación se realizó en dos etapas: la primera consistió en elaborar la cerveza de triticale *X. Triticosecale* Wittmack como adjunto en el Instituto Tecnológico de Uruapan, Michoacán, ya que cuentan con los instrumentos y equipos necesarios, así como la asesoría para realizarla. En una segunda etapa, se realizaron los análisis fisicoquímicos pertinentes de acuerdo con la Normatividad Mexicana de cerveza, en el laboratorio de Calidad de los Productos Agropecuarios de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus “El Cerrillo”, El Cerrillo, Piedras Blancas, Toluca, Edo. De México de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM).

### 6.2 Materias primas para la elaboración de cerveza artesanal

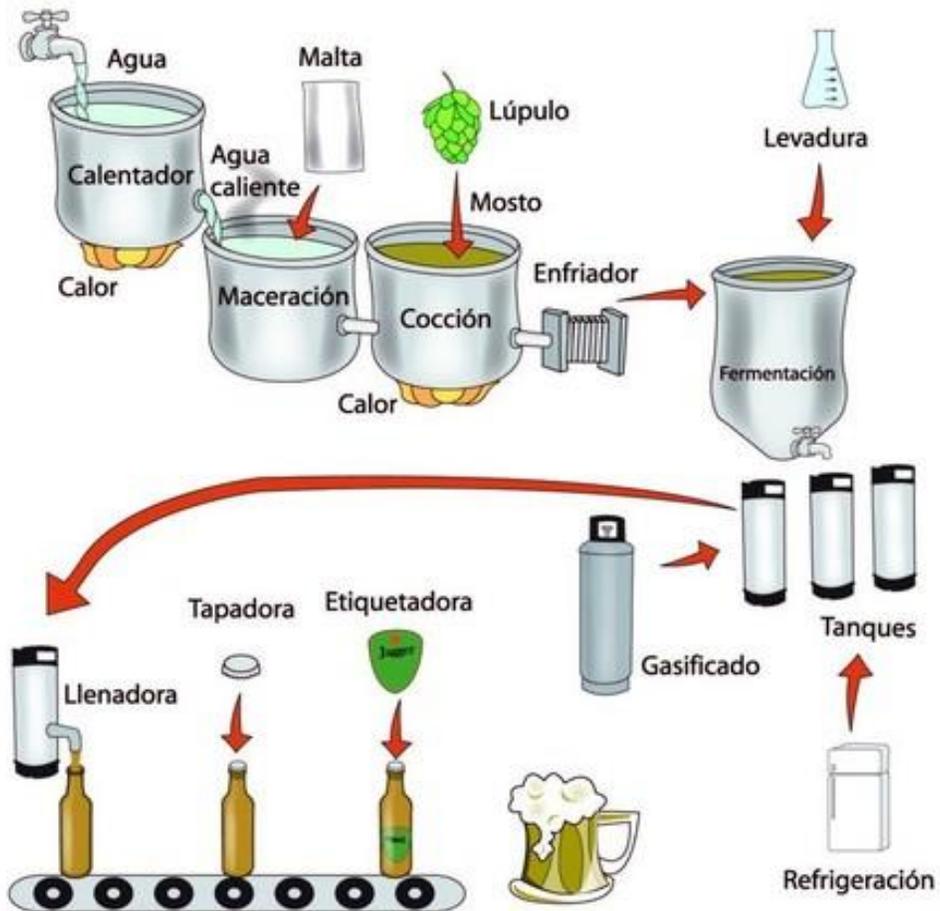
El trabajo de investigación se realizó con triticale *X. Triticosecale* Wittmack variedad bicentenario proporcionado por ICAMEX. Para lo cual, se utilizaron:

- Malta de Cebada (*Hordeum vulgare*)
- Malta de Triticale (*X. Triticosecale* Wittmack)
- Lúpulo (pellests)
- Levaduras Cervecera (Nottingham)
- Agua

## 6.3 Métodos

### 6.3.1 Diagrama de flujo de la elaboración de cerveza

En la Figura No. 25 se muestra el proceso y la elaboración de la cerveza.



**Figura No. 25** Diagrama de flujo de la elaboración de la cerveza (Hough, 2001).

A continuación se describe el proceso de elaboración de la cerveza artesanal utilizando como adjunto el Triticale, método desarrollado para la presente investigación.

1. *Molturado de la malta*: Se molió la malta hasta que pasó por una malla del número 60 (molienda gruesa).
2. *Calentamiento del agua*: Se calentó a 70 °C.
3. *Maceración*: Se llenó la olla con la cantidad correspondiente de agua. Se calentó el agua, se trasiega al macerador y se adicionó al macerador la cantidad de malta y triticale previamente molido. Para éste caso de la maceración simple se añadieron primeramente, 50 L de agua a 7.5 °C, durante 60-70 min para que se pueda completar la sacarificación.
4. *Filtrado*: Este proceso se realiza antes de la cocción, y para el cual, se procedió al trasiego del mosto sin el bagazo (cáscara que queda después de haberse extraído), el trasiego es efectuado a través de una malla metálica o de un filtro. Se obtuvo un mosto mucho más clarificado, las cascarillas que conforman al bagazo actúa como filtro natural.
5. *Cocción*: Antes de la cocción una vez de finalizar el proceso de maceración, el mosto se coló en una olla donde se llevó a cabo la cocción de éste durante 60 min. La adición del lúpulo se hizo a los 15 y 30 min después de finalizar la cocción, las adiciones del lúpulo al inicio de la cocción proporciona el amargor mientras que la adiciones a mitad y finalización proporciona sabor y aroma.

6. *Enfriado del mosto*: El mosto se enfrió rápidamente a temperaturas de 20 °C y 26 °C antes de adherir la levadura, ésto se logró a través del intercambio de calor.
7. *Inicio de la fermentación*: Se observó que la temperatura de los fermentadores estuvieran dentro de unos 20 °C. Posteriormente, se añadieron 30 mL de la levadura. En los fermentadores se homogenizaba el mosto para oxigenar la mezcla y lograr así, que la levadura pudiera trabajar correctamente.
8. Una vez adherida la levadura se tapó el fermentador y se coló con el Airlock (sello de aire, es un dispositivo que permite que un recipiente sellado libere gases e impide que el aire pueda entrar en el recipiente). Se introdujo a una válvula de fermentación llena con metabisulfito de potasio y ácido cítrico en el interior hasta la mitad del instrumento. Posteriormente, se dejaron los fermentadores a 12 y 25 °C para que tenga lugar de inicio el proceso.
9. *Fermentación*: Transcurridas las 24 h de haber añadido la levadura, el mosto comenzó a fermentar y apareció una capa de espuma en la parte superior del mosto (es una cerveza de fermentación alta). Durante los primeros dos días la fermentación es más acelerada, descendiendo su velocidad posteriormente, lo cual, puede verificarse mediante la densidad del cultivo.
10. *Clarificado por frío*: Se realizó mediante un choque térmico frío para favorecer el precipitado de la levadura y clarificar la cerveza.

11. *Trasiego de la cerveza*: Se pasó la cerveza de un fermentador a otro, con el fin de eliminar el paso de levadura del primer fermentados durante la fermentación. No debe moverse el cubo de donde estaba la cerveza, para no agitar el sedimento. El trasiego se realizó dentro de la campana de extracción para evitar una posible contaminación.
12. *Embotellado*: Se colocó el cubo de fermentación en un lugar elevado. En este paso se utilizó un llenador de goma que se acopló al grifo del cubo y así, se facilitó el llenado de botellas. Las cuales, no deben llenarse hasta arriba, sino se dejó un cierto espacio en la cabeza de la botella para que evitar el estallamiento con el desarrollo del gas. Una vez que se llenó la botella, incluso aunque se formó un color claro, dicha cerveza siguió contando con presencia de levadura en su interior y así aun se continuaba con la fermentación de azúcares (sacarosa). En este paso se colocó una chapa en el cuello y se cerró por medio de una chapadora manual. Cabe mencionar que la cerveza que aún seguía madurando y se dejó reposar un tiempo antes de su consumo.

## **6.4 Métodos para evaluar las variables Físicas de calidad de la cerveza**

### **6.4.1 Determinación de pH**

Se utilizó el potenciómetro OHAUS ST20 previamente calibrado, el potenciómetro mide la acidez o alcalinidad en escala numérica (1-14) donde 1 es ácido, 7 es neutro y 14 alcalino. Una solución con un nivel de pH inferior a 7 es considerada ácida, mientras que un nivel de pH superior a 7 se considera como básica. La concentración de una muestra de cerveza se determinó con un medidor de pH, se calibro el potenciómetro con las soluciones reguladoras de pH 4, pH 7 y pH 10 según la acidez del producto, se sumergió él electrodo en la muestra, de manera que se cubrió perfectamente, se realizó la medición del pH, se sacó el electrodo y se lavó con agua destilada (Ingham, 2009).

### **6.4.2 Determinación de color**

Para la determinación de color se utilizó el método espectrofotométrico. El método se basó en medir la absorbancia a las longitudes de onda de 430 nm y 700 nm a 20 °C, en la cerveza previamente desgasificada. Cuando el cociente obtenido de absorbancia a 430 y 700 nm, es mayor o igual a 25, la muestra se considera libre de turbidez visible y se puede realizar el cálculo para la determinación de color, en unidades de o EBC (European Brewin Convention), de color calculadas mediante:  $^{\circ}\text{EBC} = 25 \times \text{Abs } 430 \text{ nm}$ . En la Figura No. 26 se muestra la escala de color de cerveza (Mebak, 2012).



**Figura No. 26** Escala de color de cerveza (Mebak, 2012).

### 6.4.3 Determinación de densidad

La masa específica de un cuerpo, es la masa de unidades volumen de éste cuerpo, la densidad de un cuerpo es igual al producto de sus masas específicas por la del agua para medida en las mismas condiciones. Para determinar la densidad de la cerveza se realizaron los siguientes pasos. A continuación se presenta la metodología para su determinación.

1. Se tomó una muestra de cerveza de 250ml y dejar reposar hasta alcanzar la temperatura ambiente.
2. Desgasifica mediante agitación constante, hasta la no formación de burbujas de CO<sub>2</sub> al agitar la muestra. Se traslada la muestra a un recipiente adecuado.
3. Determinar el peso vacío de un picnómetro de 10ml.
4. Llenar el picnómetro con agua destilada, tapar y pesar.
5. Vaciar el picnómetro y enjuagar bien con acetona o alcohol absoluto, esperar a que seque completamente.
6. Llenar el picnómetro seco con 10ml de la muestra de una cerveza, tapar y pesar
7. Obtener los pesos del picnómetro vacío, del agua y de la cerveza y determinar la densidad de la cerveza, por diferencia , aplicar la siguiente fórmula:

$$d = \frac{(P_m - P_v)}{v}$$

$P_m$  = peso del picnómetro con la muestra.

$P_v$  = peso de picnómetro vacío.

$V$  = volumen del picnómetro.

(NMX-V-032-S-1980).

#### **6.4.4 Determinación de grados Brix (°Brix)**

Se utilizó un refractómetro de bolsillo digital PAL 3, marca ATAGO con escala de 0 a 93 ± 0.1% para medir grados brix, según método AOAC 983.17. Se añadieron 0.3 mL de muestra a 20 °C con tres repeticiones por cada muestra evaluada. Los grados Brix muestran el porcentaje en peso de sacarosa en 100 g de agua (NMX,1984) y se midieron con un refractómetro. Para lo cual, se agregó una gota de cerveza utilizando una pipeta, se observó el refractómetro y se pudo leer los °Brix. Al comienzo de cada serie de mediciones, se recomienda realizar una medición de control con agua (NMX F,1965).

## 6.5 Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental al azar con tres repeticiones usando un ANOVA con un nivel de confianza del 95% ( $P \leq 0.05$ ). Los tratamientos fueron: la cerveza artesanal de triticale como adjunto del presente trabajo (Tratamiento 3) y las cervezas tipo comerciales, indio oscura (Tratamiento 2) y corona clara (Tratamiento 1), así como, las cervezas artesanales de zarzamora (Tratamiento 4) y hilarious (Tratamiento 5). Las variables respuesta fueron: Densidad, pH, °Brix y color. Cuando se encontraron diferencias significativas y se aplicó una prueba de comparación de medidas Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizados los análisis fisicoquímicos en el laboratorio de las diferentes cervezas estudiadas (Tratamiento 1) corona clara, (Tratamiento 2) indio obscura (ambas son industriales), (Tratamiento 3) triticales, (Tratamiento 4) zarzamora (Tratamiento 5) y cerveza hilarious (Éstas tres últimas, son cervezas artesanales), se procedió a analizar los resultados obtenidos mediante un ANOVA ( $P \leq 0.05$ ) para las variables respuesta densidad, pH, °Brix, y color (°EBC). Los resultados indicaron que no existieron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) para densidad y si existieron para pH, °Brix y color (°EBC). Lo anterior, pudo verse en el Cuadro 1. Al encontrar diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos se aplicó una prueba de comparación de medidas de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) y los resultados se presentan en el mismo Cuadro.

**Cuadro 1 Características fisicoquímicas de las cervezas analizadas para las variables densidad, pH, °Brix y color (EBC).**

| Cerveza                           | Densidad (g/ml)  | pH               | °Brix           | Color (EBC)     |
|-----------------------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
|                                   | X ± DS           | X ± DS           | X ± DS          | X ± DS          |
| <b>T1</b><br><b>Corona Clara.</b> | 1.009a ±0.0013   | 4.890 a ± 0.001  | 6.000 d ± 0.000 | 9.504 d ± 0.282 |
| <b>T2</b><br><b>Indio oscura</b>  | 1.037a±0.0489    | 4.440 b± 0.001   | 5.700c ± 0.000  | 9.449d ±0.000   |
| <b>T3</b><br><b>Triticale</b>     | 1.019 a±0.0006   | 4.240 c ± 0.001  | 8.366b ± 0.152  | 10.922c ± 0.012 |
| <b>T4</b><br><b>Zarzamora</b>     | 1.022 a ± 0.0007 | 3.296 d ± 0.005  | 10.633a ± 0.057 | 33.405a ± 0.062 |
| <b>T5</b><br><b>Hilarious</b>     | 1.010 a ± 0.0025 | 4.2600 c ± 0.017 | 6.667c ± 0.208  | 15.214b ± 0.033 |

Las letras a, b, c y d indican que hay diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre las medias de los tratamientos, X= media, DS= Desviación estándar, T1= corona clara, T2 indio oscura, T3 triticale, T4 zarzamora y T5 hilarious.

## 7.1 Densidad

Se realizó una ANOVA simple considerando una  $P \leq 0.05$  para la variable densidad, en el cual, se encontró que no existieron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ), el rango de valores obtenido de los resultados de las medias de las cervezas industriales fue de 1.037-1.009 g/ml, y el rango obtenido para las cervezas artesanales fue de 1.010-1.022 g/ml. La más alta densidad se obtuvo para la cerveza Indio oscura, mientras, la menor densidad se obtuvo para la cerveza corona clara ambas elaboradas industrialmente.

Las cervezas artesanales del presente estudio son intermedias entre Indio oscura y Corona clara. La densidad está determinada por la cantidad de sólidos disueltos en el líquido, en la cerveza se pueden clasificar los solutos en fermentables (azúcares) y no fermentables (proteínas, aminoácidos y sales entre otros.), ambos son importantes. Los fermentables darán alcohol y los no fermentables darán cuerpo. La densidad está estrictamente relacionada con la cantidad de alcohol producido en la cerveza e indica si la fermentación ha tenido lugar en forma satisfactoria, por lo tanto, la densidad es el primer parámetro a considerar al hacer una cerveza (Torres y Bohòrquez, 2017; Prez, 2010).

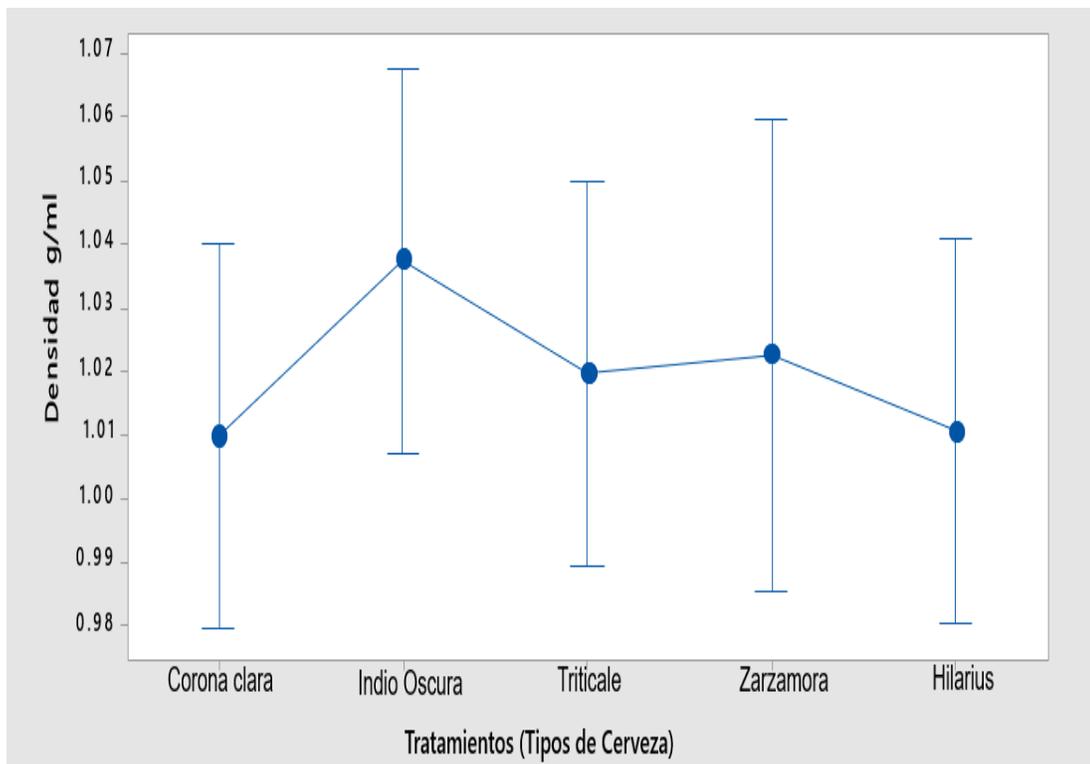
Los valores encontrados en el presente trabajo están dentro del rango de densidad en cervezas indicado por Rodríguez, (2003). Los valores del presente trabajo oscilan entre 0.997 y 1.040 (g/ml), el mismo autor menciona que la densidad puede variar también dependiendo del tipo de cerveza y de los insumos utilizados en la fabricación.

En otro estudio, Pérez, (2010), indica un rango de 1.015 a 1.005 (g/ml) en cervezas industriales, de igual manera los valores obtenidos en éste estudio coinciden, lo que se sugiere que las densidades de las cervezas artesanales e industriales no varían de manera significativa, sin embargo, puede existir variación dentro de los rangos establecidos. Lo cual, puede ser debido al proceso de fabricación y las materias primas utilizadas, además de que en el caso de las cervezas artesanales, cada fabricante tiene diferentes métodos y técnicas.

Chevez y Serrano, (2006), realizaron un estudio comparativo de cervezas industriales y encontraron un rango de 1.0057-1.0115 g/ml que es similar al los reportados por Rodríguez, (2003) y Pérez, (2010). Estos autores indican que una cerveza comercial llamada Brahva tuvo la mayor densidad de otras tres, siendo de 1.0115 g/ml e indican que esto se pudo deber a que fue una cerveza elaborada en condiciones distintas a las demás.

En la gráfica No. 1 se observa la relación de cada cerveza con su densidad promedio, aunque se puede ver que no hay una diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ). La mayor densidad fue para la cerveza Indio oscura, seguida por la cerveza artesanal de Zarzamora y Triticale. Los valores más bajos de densidad se observaron para las cervezas Corona Clara e Hilarious, lo cual sugiere que las cervezas oscuras tienden a tener una densidad más alta, mayor cantidad de sólidos no fermentables o incluso mayor cantidad de alcohol que las cervezas claras en éste trabajo de investigación.

**Gráfica No 1** Valores de densidad en cerveza.

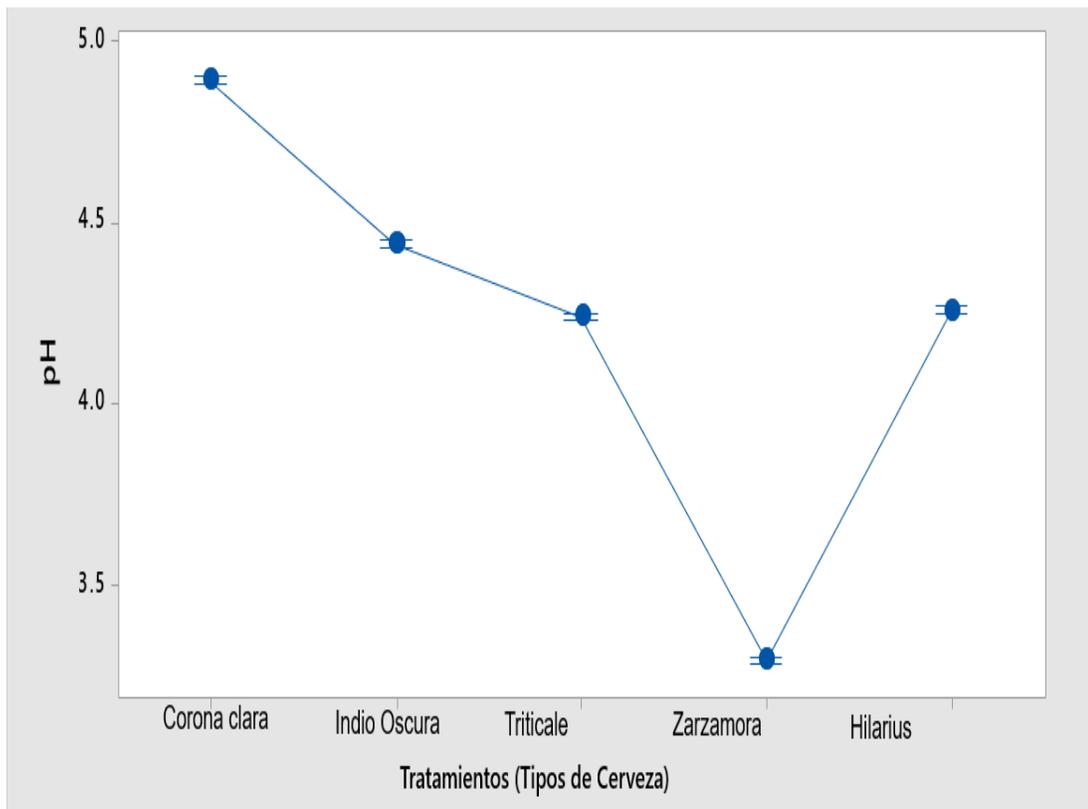


T1= corona clara, T2= indio oscura , T3= triticale, T4= zarzamora, T5=Hilarious

## 7.2 pH

Se realizó un ANOVA simple considerando una  $P \leq 0.05$  para la variable pH, en el cual se encontraron diferencias significativas entre las cervezas. En la Gráfica No. 2 se observan la relación de cada cerveza con su respectivo pH.

**Gráfica No 2** Valores de pH en cerveza



T1=Corona clara, T2=Indio oscura, T3= Triticale, T4= Cerveza de zarzamora y T5= Hilarious.

Los resultados indicaron que se formaron 4 grupos estadísticamente significativos ( $P \leq 0.05$ ). Se sabe que el pH es un factor muy importante para una buena fermentación durante el proceso de fabricación de la cerveza y que debido a la acción de las levaduras éste tiende a modificar el mosto a la cerveza final, principalmente porque existe una transformación de

aminoácidos a ácidos (láctico y pirúvico). Sin embargo, el pH óptimo para la acción de la levadura se encuentra en rango de 4.4 a 5.0 siendo el más favorable 4.5 para su crecimiento y acción (Sanar, 2012).

Swistowicz, (1997) reportan que en cervezas *Laguer* (claras) el pH se encuentra en  $4.1 \pm 0.2$  y que éste depende del agua, tipo de malta y los adjuntos que se utilizan en la fabricación. En el presente trabajo de investigación la cerveza con el valor de pH más alto fue la cerveza industrial corona clara con un valor de la 4.89, éste valor se encuentra dentro del rango óptimo para la fermentación por la levadura, mientras que la cerveza de zarzamora obtuvo el valor más bajo de pH siendo de 3.29, pero no es un valor tan anormal acorde con Swistowicz, 1997.

Las cervezas Indio y Corona, presentaron un pH de 4.44 y 4.8 respectivamente, estos valores están dentro del rango adecuado, lo cual era de esperarse ya que éstas cervezas son elaboradas a escala industrial con procedimientos estandarizados. La cerveza Hilarious tuvo un pH de 4.26 comportándose como lo indica Swistowicz, (1997).

Lo anterior, puede deberse a que es una cerveza artesanal pero que se elabora a mediana escala y en su proceso es posible que se utilicen adjuntos que contribuyan a una disminución del pH respecto de las cervezas Indio y Corona. Sin embargo, Hilarius estuvo dentro del rango adecuado de pH para la levadura (Ingham, 2009), lo cual, indicó que el pH de lagunas cervezas especiales puede alcanzar un mínimo de 3.8-4.4 y subió ligeramente hacia el

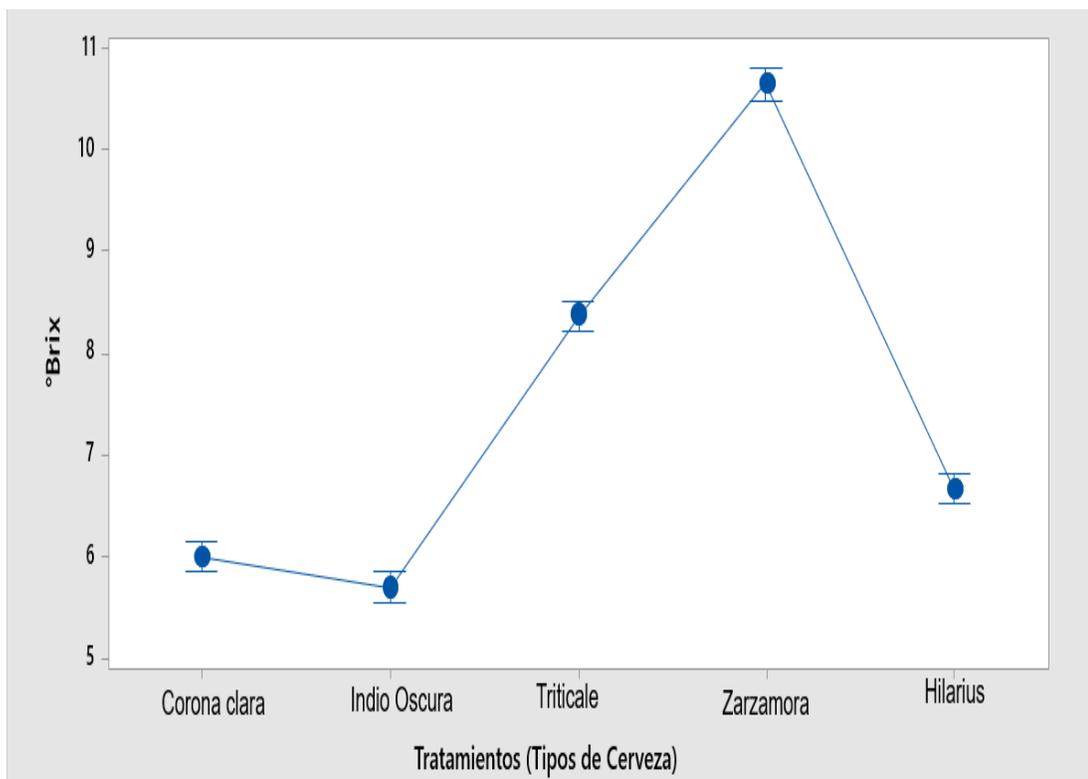
final de fermentación, esto puede explicar un poco el comportamiento de la cerveza de zarzamora ya que esta no es elaborada en su totalidad con cebada si no que se agregan otros insumos como adjuntos que no precisamente son cereales, tal es el caso de la zarzamora.

En general, las cervezas artesanales no se alejan del rango óptimo de pH para el crecimiento de la levadura según Sanar, (2012), sin embargo, en éste estudio las cervezas artesanales difieren estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ) respecto a las cervezas industriales, pero no significa que sean de calidad mala, ya que son artesanales y son apreciadas por los consumidores.

### **7.3 °Brix**

Se realizó un ANOVA considerando una  $P \leq 0.05$  para la variable °Brix, en él que se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre las cervezas, lo que se observa en la Gráfica No. 3.

**Grafica No 3** Valores de °Brix en cerveza.



T1= Corona clara, T2= Indio oscura, T3= Triticale T4= Cerveza de zarzamora y T5= Hilarious.

Los resultados indicaron que se formaron 4 grupos estadísticamente significativos diferentes ( $P \leq 0.05$ ), las únicas cervezas que no mostraron diferencias fueron Indio y corona clara, que presentaron el menor valor 5.7 °Brix y 6 °Brix respectivamente.

La cerveza con el valor mayor fue la cerveza de zarzamora con 10.63 °Brix que era de esperarse por la cantidad de azúcar de la fruta, seguida por la cerveza de Triticale, con un valor de 8.36 °Brix y la cerveza Hilarious con 6.66 °Brix, cabe mencionar que éstas tres cervezas fueron elaboradas artesanalmente. Como puede verse, indicó el rango de valores para todas las cervezas fue de 10.63 a 5.7 °Brix. Los °Brix en las cervezas terminadas son

un parámetro para cuantificar los sólidos solubles y la cantidad de azúcares que han sido extraídos durante el proceso macerado y los posteriores rocesos de fabricación (DBQM, 2011; Hernández, 2009).

Mencia y Pérez, (2016) mostraron en su investigación en cervezas artesanales (Ale y Lager) de malta de cebada adicionada con malta de maíz, un rango de °Brix de 9.36-14.77, siendo el valor de 9.36 °Brix para la cerveza Ale y el de 14. 77 °Brix para la Lager, lo anterior indica que los °Brix en las cervezas artesanales son altos respecto a las cerveza industriales y varían de acuerdo a la materia prima con la que se elaboren, como ya se indicó. El rango en esta investigación coincide con lo indicado por Mencia y Pérez, (2016).

En el caso de las cervezas industriales Zavala *et al.* (2015), realizaron un estudio comparativo de cervezas claras y oscuras nacionales elaboradas industrialmente, encontrando que los °Brix de estas cervezas tuvieron valores estadísticamente diferentes con un rango de 3.5-0.80 °Brix, siendo las cervezas oscuras las que tuvieron mayor contenido de °Brix lo que coincide con los resultados de esta investigación sin embargo los valores reportados por Zavala *et al.* (2015) son menores, esto puede ser debido a la materia prima empleada y al estilo de la cerveza (light, oscuras y claras), ya a pesar de que el proceso de elaboración de la cerveza es básicamente universal, cada fabricante tiene su propio estilo.

De acuerdo con Mencia y Pérez, (2016) y Zavala *et al.* (2015) los resultados obtenidos en esta investigación son congruentes y reflejan que las cervezas artesanales son diferentes a las industriales en el contenido de °Brix y esto es debido a la diferencia en el contenido final de azúcares y sólidos solubles además de que esto puede verse influenciado por la cantidad de azúcares presentes en la malta y variaciones en el tiempo y temperatura de macerado (Hernández, 2009).

#### **7.4 Color**

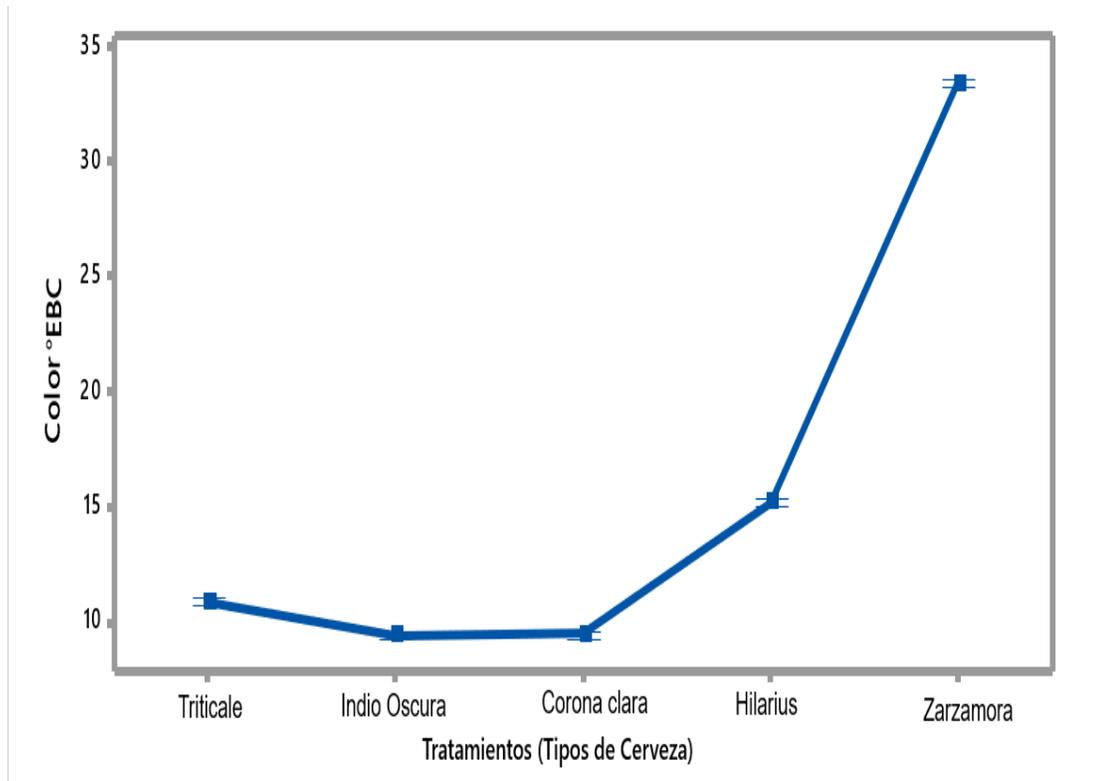
Los valores obtenidos en esta investigación (Cuadro 1) muestran que las cervezas corona, indio, triticales e hilarius fueron cervezas claras y estuvieron en un rango de unidades EBC de 9.4 a 15.2 °EBC, entre corona e indio no existieron diferencias significativas siendo sus valores 9.5 y 9.4 °EBC, respectivamente.

Las cervezas de triticales (10.9 °EBC) e Hilarius (15.2 °EBC) mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) respecto a las cervezas corona e indio, esto puede ser debido a que su proceso de fabricación es diferente ya que corona e indio son industriales y triticales e Hilarius son artesanales, sin embargo basados en la escala de color EBC estas cervezas son claras.

Por su parte la cerveza de zarzamora obtuvo un valor significativamente más alto (33.4) que las cervezas de triticales e Hilarius lo que la hace una cerveza cobriza, esto puede deberse a que la zarzamora es un fruto de color oscuro

y por lógica una cerveza elaborada con zarzamora tendera a ser de color oscuro. En la Gráfica No. 4 podemos ver los valores de color en la cerveza

**Gráfica No 4** Valores de color en la cerveza.



T1= Triticale, T2= Indio oscura, T3= Corona clara, T4= Hilarius y T5= Cerveza de zarzamora

Mecia y Pérez, (2016) determinaron color en cervezas artesanales tipo *Ale* (Oscuras) y *Laguer* (Claros) de cebada con malta de maíz como adunto encontrando que los valores promedio en unidades EBC para la cerveza *Ale* fue de 82.67 °EBC y para la cerveza *Laguer* fue de 60.12 °EBC, estos valores están por encima de los encontrados en esta investigación el valor máximo fue para la cerveza de zarzamora 33.4 °EBC si ubicamos los valores de Mencia & Pérez en la escala de color EBC encontraremos que la cerveza *Laguer* sería una cerveza oscura y la tipo *Ale* sería una cerveza negra,

mientras que la cerveza de zarzamora sería una cerveza cobriza tendiendo a oscura y las de triticales e Hilarius serían claras, la diferencia entre el color de las cervezas artesanales de Mecia y Pérez, (2016) y las de el presente estudio puede deberse a que los materiales de elaboración son diferentes además de que el proceso de elaboración puede tener variantes.

Rodríguez, (2003) realizó un estudio de características fisicoquímicas en cervezas tipo Lager fabricadas por una compañía Chilena, en el análisis de color encontró que las cervezas Lager tuvieron un valor promedio de 10.37 °EBC con un valor mínimo de 7.67 a un máximo de 15.05 °EBC, basándonos en los resultados que se obtuvieron para las cervezas de triticales e Hilarius podría decirse que los resultados coinciden a pesar de que estas son artesanales, por su parte corona e indio son industriales y además cervezas Lager por lo que por simple lógica deben coincidir con el rango especificado por Rodríguez, (2003) para cervezas Lager, aun que la cerveza indio esta catalogada como una cerveza oscura por su fabricante, el resultado en esta investigación y basándonos en la escala de color EBC esta es una cerveza Clara (Lager), en general la determinación de color en las cervezas del presente estudio muestra que las cervezas son claras siendo la cerveza indio y corona las mas claras, seguido por la de triticales e Hilarius y por ultimo la de zarzamora con un color cobrizo.

## VIII. CONCLUSIONES

Se elaboró una cerveza Lager de cebada con Triticale como adjunto, que presentó características físicas compartidas con otras cervezas industriales.

La cerveza artesanal del presente trabajo elaborada con triticale como adjunto mostró parámetros de calidad (Densidad) similares a otras cervezas convencionales ya comerciales, Corona e Indio

En cuanto a otras cervezas artesanales, la del presente trabajo mostró parámetros de calidad (pH) similares a la cerveza Hilarious. Aunque, no tuvo semejanzas con la cerveza de Zarzamora, lo cual, se sugiere fue debido a que la Zarzamora no es un cereal otorgando características físicas diferentes.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arboleda, C. (2016). "Proyectos: Formulación, Evaluación y Control de Calidad de Colombia. Colombia: El universal. pp.12-16.
2. Barrios, D. (2015). "One-hundred years of pH química". Madrid: Thomson. pp. 25-36.
3. Baxter, E. (2004). Cerveza. Calidad, higiene y características nutricionales. Capítulo1. Visión general de los procesos del malteado y la elaboración de cerveza. Clarificación del mosto. pp 9.
4. Bernard, S. y Charmet, G. (2002). Diallel Analysis of Androgenetic Plant Production in Hexaploid Triticale (*X.Triticosecale* Wittmack). New york: Columbia. pp. 32-40
5. Bothmer, R. V. (2003). *Diversity in Barley (Hordeum vulgare)*: Elsevier. pp. 23- 25.
6. Broderick, H. M. (2007). *The practica brewer*. Wiscousin, USA: Madison. pp. 23-27.
7. Collini, D. y Pérez, C. (1999). Brewmaster, world brewing academy. Especialista en análisis sensorial. Filtración del mosto. pp. 131-144.
8. Chevez y Serrano. (2006). Universidad Nacional de Nicaragua. Estudio preliminar de parametros fisicoquímicos de cervezas de consumo nacional. Facultad de Ciencias departamento de Química. pp. 13-16
9. DBQM , (2011). Draught beer quality manual. Second Edition. Estados Unidos: Brewers Association. pp. 5- 16

10. Fálder, J. (2006). La cerveza prehistórica. investigaciones arqueobotánicas y experimentales. "Un poblado del Bronce Final en el Bajo Segre Lleida". Barcelona: Publicacions Universitat. pp. 54- 60
11. Ferrán-Lamich, J. (2002). Cebada variedades cerveceras cerveza. Barcelona: Editorial Aedos. pp. 14-20.
12. Franco, L., Bravo, C., Galán, C., Barriga, A., Rodríguez, B y Cubero, J. (2014). *Effect of non-alcoholic beer on Subjective Sleep Quality in a university stressed population: Acribia*. pp 28-32
13. Garcia, A. (2002). *Historia de la cerveza*. San Luis Potosi: Agrociencia. pp 102.
14. Garrido. F. (2001). La Cerveza tipos y clasificaciones. Madrid: Forbes. pp 9-15
15. Gisbert, M. (2016). Universidad Politécnica de Valencia. Diseño del proceso industrial para la elaboracion de cerveza. Campus de Alcoy. pp. 15- 20.
16. Gonzalo, D. (2000). *Almacenamiento de Granos*. Bogotá: UNAD, Facultad de Ciencias Agrarias. pp. 2-6.
17. Gorostiaga, F. (2008). "Proceso de elaboración de cerveza". Manual Moderno. Ecuador: Primera Edición. pp 4-12.
18. Glatthar, J., Heinisch, J., Senn, T. (2002). *A study on the suitability of unmalted triticale as a brewing adjunct*, of the American Society of Brewing Chemists. pp. 181—187.
19. Hernández, A. (2004). Microbiología industrial. Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.

20. Hernández, F. (2009). Efecto de temperatura y el tiempo de maceración de la elaboración de prototipo de cerveza tipo BOCK. Honduras: Zamorano.
21. Herrera, T. (2003). Bebidas alcohólicas no destiladas indígenas de México. México: Universidad Autónoma de México. pp. 5-9.
22. Hornsey, I. (2000). Elaboración de cerveza. Microbiología, bioquímica y tecnología. Capítulo 1. definición de cerveceria. Orígenes de la cerveceria. pp. 1-5.
23. Hough, J. (2001). Biotecnología de la cerveza y de la malta. Zaragoza España: Acribia. pp 6-23.
24. Hough, J. (2002). "Biotecnología de la cerveza y de la malta". Zaragoza España: Acribia. pp 20-25.
25. Hughes, P. (2005). Calidad y características nutricionales. Requerimientos de calidad y seguridad del agua empleada en la fabricación de cerveza. pp 20-25.
26. Huxley, S. (2002). La cerveza. Un manual para cervesafilios. Equipo, instrumentos. Fermentación. pp. 214-219.
27. Ingham, B. (2009). Uso de medidor de pH. Estados Unidos: Limusa. pp. 20-26.
28. Journal, A. (2000)." Sociedad Americana de Químicos de Cerveza. Informe del Subcomité sobre el color de la cerveza utilizando el análisis triestímulo." pp. 100-110.
29. Lloyd, W. (1986). Centenary review. Bracelona: Adjuncts. J. Inst. Brew. pp. 336-345.

30. Leach, A. A. (2017). Nitrogenous components of worts and beers brewed from all- malt and malt plus wheat flour grists. Alemania: Adjuncts. J. Inst.Brew. pp. 183-192.
31. Lewin, B. (2001). *Genes VII* marban. New York: El Universal. pp. 8-11
32. Margueron, J. (2002). *Los mesopotamicos*. Colombia: S.P. pp. 80-85
33. Mebak, (2012). Wort, Beer, Beer-Based Beverages. Europa: 1ª edición pp. 233.
34. Mencia y Pérez, (2016). Escuela Agrícola Panamericana. Desarrollo de cerveza artesanal ale y lager con malta de maíz (*Zea mays*), cebada (*Hordeum vulgare*), carbonatada con azúcar y miel de abeja. Zamorano Honduras
35. NMX-V-032-S-1980. Bebidas alcohólicas. Determinación de densidad relativa. alcoholic beverages. Determination of density. Normas mexicanas. Dirección general de normas.
36. NMX F. 1965. Norma Oficial de Método de Prueba para la Determinación de "Grados Brix".
37. NMX.1984. Norma Oficial Mexicana. Determinación del grado Brix en muestras de meladura; masas cosidas; mieles "a" y "b" de refinaria y miel final. Por método hidrométrico. México: Camara Nacional de las Industrias azucarera y alcoholera.
38. Oettler, G. (2005). *The fortune of a botanical curiosity-Triticale Past, present and future*: Journal of Agricultural Science. pp. 329—346.
39. Pérez, A. (2010). Industria Alimentaria. Manual agroalimentario. México. pp 3-5.

40. Rodríguez, G. (2003). Universidad Austral de Chile. Determinación de parámetros Físicos-Químicos para la caracterización de cerveza tipo lager elaborada por compañía cervecera kunstmann S.A. Valdivia Chile: Facultad de Ciencias Agrarias. pp. 20-32.
41. Rodríguez, J. (2013). "Contribución a la ingesta de macro y micronutrientes que ejerce un consumo moderado de cerveza". Honduras. pp. 10-18.
42. Sanar, E. (2012). Propiedades de la cerveza. recuperado el 21 de enero de 2017. Sitio web: <http://www.sanar.org/alimentos/propiedades-de-la-cerveza>.
43. Santoyo, C. y Quiroz, M. (2010). Guía para el cultivo de cereales en el Estado de México. Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México, ICAMEX. SEDAGRO. Metepec, Edo. de México. pp. 10.
44. Swistowicz, W. (1997). El cervecero en la práctica. Madison. Wisconsin: Segunda Edición Asociación de maestros cerveceros de las Américas. pp. 413.
45. Tintó, S., Luque, R., Bernard, J., Turner, C. (2002). La cerveza artesanal. Como hacer cerveza en casa. Proceso de elaboración. Fermentación. pp. 93-97.
46. Torres y Bohorquez, (2017). Sustitución parcial del lúpulo (*Humulus lupulus*) por cidron (*Aloysia citrodora*) en elaboración de cerveza artesanal. Chiapas. pp. 15- 20.
47. Vicente, J. (2016). Procesos de elaboración de cerveza enriquecida con alcachofa. México: Univercitas. pp. 6-8.

48. Vogel, W. (2001). Elaboración casera de cerveza. Enfriamiento del mosto. Manual cervecero. Estado de México. pp .69.
49. Watson, L. y Dallwitz, M. (2008). *The grass genera of the world. descriptions, illustrations, identification, and information retrieval; including synonyms, morphology, anatomy, physiology, phytochemistry, cytology, classification, pathogens, world and local distribution, and references.* Canada. pp. 12- 16.
50. Zavala, A., Huerta, P., Molino, F. (2015). Ciencia e innovación de tecnología Estratégica para el bienestar. Guadalajara: Editorial. Universidad Autónoma de Guadalajara.

