



UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA DE MÉXICO



DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA SALUD, BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES

Estudio comparativo de fuentes no convencionales de
carbohidratos en la elaboración de cerveza *Oryza*
sativa y *Zea mays*

PRÁCTICA PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE TSU
EN BIOTECNOLOGÍA
P R E S E N T A :

SERGIO NAJERA VARGAS

Asesor Interno: M. en C. A. BRENDA SANTIAGO RUIZ

Asesor Externo: M en C. MARTHA ANGELICA CALVA
RAMIREZ



BIOTECNOLOGÍA



Índice

Resumen.....	2
1. Justificación.....	3
2. Marco teórico.....	4
2.1. Cerveza.....	4
2.2. Materias primas de la cerveza.....	5
2.2.1. Cebada.....	5
2.2.2. Maíz.....	6
2.2.3. Arroz.....	8
2.2.4. Comparativo de granos.....	9
2.2.5. Agua.....	9
2.2.6. Lúpulo.....	10
2.2.7. Levadura.....	12
2.2.7.1. Tipos de levadura cervecera.....	12
2.3. Procesos de la elaboración de cerveza.....	14
2.3.1. Proceso de malteado.....	14
2.3.2. Fermentación como proceso metabólico.....	15
2.3.3. Aspectos generales del proceso cervecero.....	16
3. Objetivos.....	18
3.1. Objetivo general.....	18
3.2. Objetivos particulares.....	18
4. Hipótesis.....	18
5. Metodología.....	18
5.1. Etapas.....	18
5.2. DOE.....	21
5.3. Desarrollo.....	21
6. Resultados.....	24
7. Discusión.....	27
8. Conclusiones.....	28
9. Bibliografía.....	29



Resumen

El presente trabajo analizo las propiedades de dos diferentes fuentes de carbohidratos en la elaboración de cerveza para ello se llevó a cabo la comparación de arroz y maíz cada uno presenta diferencias morfológicas, así como bioquímicas pero comparten su tendencia a concentrar azúcares por lo que se pueden emplear como fuente de energía química para impulsar las reacciones metabólicas de la levadura, sin la necesidad de maltear lo que representa un ahorro en los costes de producción. La hipótesis propuesta es que el contenido de granos no malteados en la elaboración de una bebida fermentada con las características que la distinguen como cerveza puede ser $\geq 30\%$. Ya sea arroz, maíz o una combinación de ambos. Para comprobarlo se planteó un diseño de experimento de mezclas en el que se hizo un acondicionamiento de los granos previo a la maceración para poder comparar las características organolépticas y las propiedades fisicoquímicas del mosto obtenido. El análisis de la superficie y del contorno de respuesta de las densidades obtenidas indican que el arroz es el grano menos influyente en la mezcla y que el maíz en combinación con la cebada aporta gran cantidad de azúcares es posible que la elevada temperatura de gelificación necesaria del almidón en combinación con su nulo poder enzimático sean la causa de este bajo aporte de azúcares. El acondicionamiento de los granos es efectivo para los granos de *Zea mays* variedad tuxpeño permitiendo obtener mostos que integren un contenido superior al 30% de grano no malteado, con lo que se comprueba la hipótesis.



1. Justificación

México desde el año 2010 se consolidó como el mayor exportador de cerveza del mundo lo que representa el 21.3% del mercado global compitiendo contra países de gran tradición cervecera como Bélgica, Países Bajos y Alemania (*ForbesMexico*, 2017).

Esta tendencia de crecimiento parece continuar, durante el primer semestre de 2018 se exportaron 19.4 millones de hectolitros lo que representó un crecimiento del 15% comparado al del año anterior (Cerveceros de México, 2018).

La industria tiene un papel relevante en la economía nacional desde el año 2010 cuando Cuauhtémoc Moctezuma fue adquirido por Heineken (Juvenal&Ramos, 2010) representa el mayor sector receptor de inversión extranjera directa con 70,000 millones de pesos en 2017 por parte de “Cuauhtémoc-Heineken” y “Grupo Modelo AB Inbev” lo que se ha traducido en la puesta en operación de fábricas y optimización de sus procesos (sustentabilidad) generando 55,000 empleos directos y 5 indirectos por cada uno de ellos además de promover el desarrollo tecnológico y la investigación en este campo (Mares, Marco, 2018).

La industria cervecera tiene un impacto directo en el sector primario (agropecuario) ya que es el principal consumidor de la cebada y productor de cebada malteada en nuestro país, también emplea aunque en menor medida arroz y maíz en su elaboración (S.E., 2015).

En este trabajo se estudió el impacto de diferentes porcentajes de grano añadido, empleando dos variedades elegidas por su funcionalidad y disponibilidad. (Maíz y Arroz) Los cuales tienen diferentes aportes de carbohidratos y pueden emplearse sin maltear en la elaboración de cerveza, lo que representa un ahorro $\geq 30\%$ al disminuir el contenido de grano malteado (cebada) y mantener el rendimiento, sin afectar las propiedades organolépticas como estabilidad de sabor, color y brillantez del producto final.

2. Marco teórico

2.1. Cerveza

La cerveza es una bebida de consumo mundial con diversidad de estilos e ingredientes. Esto genera múltiples variedades que se distinguen principalmente por su tipo de fermentación ALES (oscuras) y LAGER (claras) también existen preparaciones regionales como Guinness (Irlanda) también



especialidades de temporada como la “Märzenbier” solo en primavera. (Fálder, 2016.) Ante tanta variedad es necesario fijar una serie de características mínimas para considerar una bebida fermentada como cerveza. Las “Normas Oficiales Mexicanas” establecen regulaciones técnicas obligatorias, también las especificaciones fisicoquímicas como se pueden apreciar en el Cuadro 1. Además de la información comercial y métodos de prueba para bebidas alcohólicas (DOF, 2017). La cerveza es la bebida alcohólica fermentada elaborada con malta, lúpulo, levadura y agua potable, puede adicionarse con infusiones de cualquier semilla farinácea procedente de gramíneas o leguminosas, raíces o materia prima vegetal feculenta y/o carbohidratos de origen vegetal susceptibles de ser hidrolizados o, en su caso, azúcares que son adjuntos de la malta, con adición de lúpulos. Se aclara que otras bebidas fermentadas no provenientes al 100% de cebada malteada deberán establecerse con el nombre del producto vegetal feculento seguido de la palabra "Ale" Ejemplo: "Maíz Ale" (DOF, 2017).

Cuadro 1. Especificaciones bioquímicas para Cerveza y “__Ale” (DOF, 2017).

Especificaciones	Límites	
	Min.	Max.
Contenido de alcohol a 20°C (% Alc. Vol.)	2	20
Metanol (mg/100ml de alcohol anhidro)	-	300
Acidez total (como ácido láctico en g/l)	-	10
pH	2.5	5
Plomo (mg/l)	0	0.5
Arsénico (mg/l)	0	0.5

2.2. Materias primas de la cerveza

2.2.1 Cebada

La cebada es el grano de *Hordeum vulgare* planta gramínea anual, originaria de Asia occidental. Con dos variedades, cebada de dos hileras (*Hordeum distichum*) o de seis hileras (*Hordeum hexastichum*) como se muestra en la Figura 1, la más empleada en la elaboración de cerveza es la de dos hileras



por su uniformidad, producción de azúcares fermentables, bajo poder diastático y un valor proteico reducido en comparación a la de seis hileras como se aprecia en el cuadro 2. (FESC, 2017).

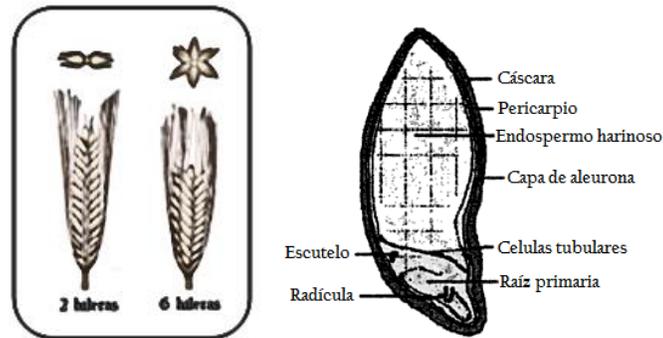


Figura 1. Tipos de cebada y partes que la componen (FESC, 2017).

Cuadro 2. Comparativo de las propiedades de la cebada.

Cebada	Dos hileras	Seis hileras	
Proteína	-	+	Los niveles altos de proteína causan problemas en la maceración, turbidez e inestabilidad en la cerveza
Uniforme	+	-	A mayor uniformidad mejor molido
Azúcares	+	-	Los azúcares reductores impulsaran la actividad fermentativa
Poder Diastático	-	+	En contenido enzimático influye en la conservación de la cerveza y entre más alto, mayor la capacidad de incorporar otros ingredientes

La cebada contiene el almidón insoluble rico en azúcares en el endospermo después de la cosecha se secan hasta alcanzar una humedad del 12% se almacenan 6 semanas aproximadamente para que vuelva a estar activa la semilla e iniciar el proceso de malteado (Hough, 1985).

2.2.2. Maíz

Es el grano de la *Zea mays* gramínea anual de planta alta dotada de un amplio sistema radicular fibroso originaria de América cultivada originalmente en el centro de México e introducida con éxito en otras latitudes después del siglo XVII la extensión de su cultivo lo ha llevado a ser es el cereal más cultivado del mundo. Gracias a su cultivo en las múltiples regiones y climas de México se han generado una gran variedad de subespecies (Cuadro 3) lo que hace necesario dividirlos en grupos para su estudio, basados en su forma, comportamiento de germinación y la región de la que son característicos (CONABIO, 2012).



Cuadro 3. Clasificación biológica del maíz de México (CONABIO, 2012).

Grupo	Característica	Distribución
Cónico	Planta robusta, Altitud 2000m – De harinoso a duro	Valles centrales de México
Sierra de Chihuahua	Planta pequeña, Altitud 2600m – Muy duro	Norte de México
Ocho Hileras	Planta de baja elevación – Muy harinoso	Occidente de México
Chapalote	Mazorcas elípticas de grano coloreado de duro a dulce	Planicie costera del pacifico
Tropical precoz	Planta corta, baja sensibilidad al fotoperiodo resistente al ambiente altitud 100- 1500m	Trópico seco y región semiárida intermedia
Dentado tropical	Plantas robustas de suave a medio duro	Sur de México y Golfo y Pacifico
Maduración tardía	Muy sensibles al fotoperiodo y la temperatura de suave a semiduro	Tierra bajas de la península de Yucatán cañadas y valles de la sierra madre sur y oriente

Los distintos tipos de maíz cambian la composición de su endospermo, con base a ello cambia su funcionalidad (Cuadro 4) industrial y alimenticia en la Figura 2 se puede apreciar la constitución del endospermo de 5 variedades de maíz (Dickerson, 1992).

Cuadro 4. Tipos de maíz por su funcionalidad (FAO, 1993)

Tipos de Maíz	Característica
Maíz Duro	El endospermo contiene almidón calloso muy resistente a humedad e insectos, ampliamente usado como alimento y forraje.
Maíz reventón	El endospermo es casi en su totalidad es de almidón duro, es de grano pequeño
Maíz dentado	El endospermo contiene almidón duro solo a los lados del grano, cuando comienza a secar aparece una depresión por la contracción del interior suave.
Maíz harinoso	El endospermo está compuesto casi exclusivamente de un almidón muy suave, está variedad es la de consumo humano más extendido



Maíces cerosos	El almidón lo compone al 100% amilopéctica lo que le da un color opaco de interés industrial para obtener derivados
Maíces dulces	Empleados en estado aun verde con alto contenido de azúcar debido a que la conversión en almidón es bloqueada por genes recesivos tiene un gusto dulce

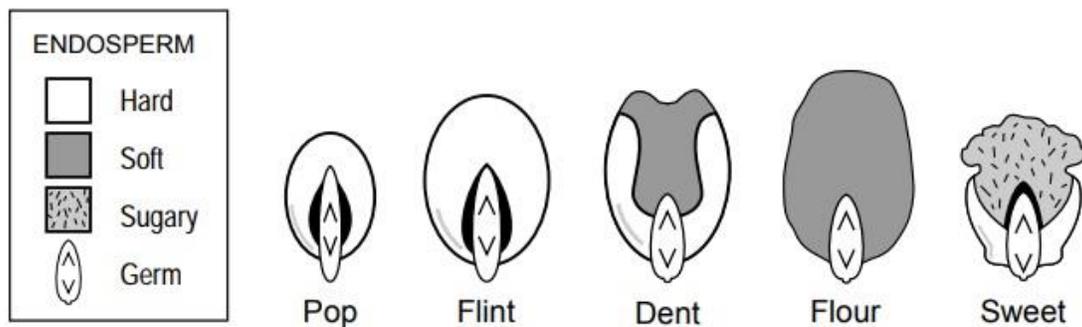


Figura 2. Distribución del endospermo en 5 tipos de maíz (Dickerson, 1992)

La diversidad de variedades del maíz, las propiedades que pueden presentar de acuerdo a la distribución del almidón en el endospermo, las variedades de productos derivados que se pueden obtener del maíz productos alimenticios para humanos, piensos animales, espesantes, endulzantes o como fuente de almidón, esto lo hace una especie de gran interés para la industria alimenticia ya que prácticamente pueden encontrar una variedad de grano con las propiedades acorde a sus necesidades (Dickerson, 1992).

2.2.3. Arroz

Es el grano de *Oryza sativa* gramínea anual originaria del sudeste asiático actualmente cultivada en todo el mundo, estructuralmente tiene 4 partes (cuadro 5). Este grano representa el 20% del aporte calórico de la dieta mundial es el segundo cereal más cultivado del mundo por detrás del maíz. En la cual se pueden distinguir dos variedades, la indica cuyo grano es delgado, alargado y absorbe poca agua. Y la variedad japónica más pequeño pero ancho con tendencia a retener mucha agua, aunque la gran extensión de su cultivo y el interés en mejorar los rendimientos de sus cosechas han llevado a desarrollar muchas variedades en laboratorio e inclusive a descubrir nuevas variedades salvajes. (FESC, 2017.)



Cuadro 5. Partes y características del grano de arroz (FESC, 2017.)

Parte	Características
Cascara	Recubre al grano lo mantiene aislado del medio
Salvado	Pericarpio, Tegumento Capas de aleurona parte proteica
Endospermo	Representa el 80 % del peso del grano de arroz contiene el almidón
Germen	Se une al endospermo por la región ventral y contiene el embrión

Debido a la gran variedad, la clasificación del arroz más común se basa en la morfología del grano: corto, mediano, largo (FESC, 2017.)

También se puede clasificar por su color blanco, blanco lechoso, amarillento, marrón, rojo, pardos desde el morado hasta el negro (Rahman *et al*, 2013) Al clasificar por su contenido de almidón debemos mencionar que este se compone de otras dos sustancias como se muestra en la figura 3 amilosa y amilopéctica en diferentes proporciones, en base al porcentaje presente en el grano se adquiere diferentes propiedades, cuando el porcentaje de amilasa es alto la humectación del grano es baja debido a que es una enzima hidrolasa que tiene la función de catalizar la reacción de hidrólisis de los enlaces 1-4 del componente α -amilasa al digerir el glucógeno para formar azúcares simples (Pincioli, 2010)

Un alto contenido de amilopéctina impacta directamente en la humectación del grano, al ser un carbohidrato compuesto por unidades de glucosa unidas en un enlace α 1-4 que se ramifican cada 12-30 en enlaces α 1-6, produce texturas viscosas al absorber mucha agua.

Otra forma de clasificarlos es por sus propiedades de cocción que se mide empleando la temperatura de gelificación. (Cerde & Vázquez, 2017)

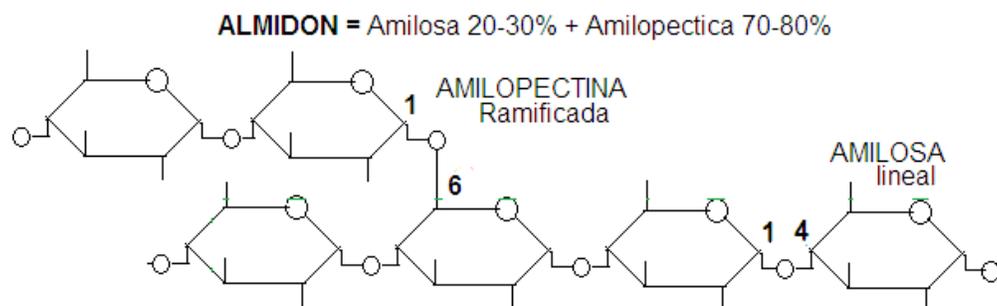


Figura 3. Composición del almidón Cerda & Vázquez, 2017)

2.2.4. Comparación de granos



Los datos expresados están calculados a 14%H.

Cuadro 6. Composición y balance de energía de cereales (Juliano, 1985)

Propiedad	Cebada	Maíz	Arroz
Proteína	11%	9.8%	7.3%
Lípidos	3.4%	4.9%	2.2%
Carbohidratos	55.8%	63.6%	64.3%
Fibra cruda	3.7%	2%	0.8%
Cenizas	1.9%	1.4%	1.4%
Digestibilidad	88%	95%	99.7%
Uso neto de proteína	62%	58%	73.8%
Energía digestible	1320 kJ*100 ⁻¹	1450 kJ*100 ⁻¹	1550 kJ*100 ⁻¹

2.2.5 Agua

Es un componente crítico que constituye alrededor del 95% de esta bebida, el abasto en suficiencia es necesario para las operaciones que se realizan durante la producción, así como asegurar la calidad del agua a emplear ya que determinados estilos tienen diferentes necesidades (Cuadro 7) Las propiedades físico-químicas del agua tienen efecto sobre el producto obtenido.

Podemos relacionar la ubicación de los centros cerveceros con la calidad del agua de la región, en Burton-on-Trent, el alto contenido de sulfato cálcico resulta ser el más apto para los estilos como el IPA (English Pale Ale), cervezas de carácter fuerte muy aromáticas.

Por el contrario las aguas blandas de Checoslovaquia son las más adecuadas para elaborar Lagers. Algunas aguas ricas en bicarbonato cálcico (dureza temporal) resultan excelentes para la producción de cervezas oscuras como Múnich (Hough, 1985).

(mg l ⁻¹) de:	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ²⁻ ₄	HCO ₃ ⁻
Burton-on-Trent	54	24	352	16	820	320
Pilsen	32	8	7	5	6	37
Munich	10	19	80	1	6	333



London	24	4	90	18	58	123
Dublin	12	4	119	19	54	319
Dortmund	69	23	260	106	283	549

Cuadro 7. El agua de los centros productores de cerveza (Hough 1985)

En la industria cervecera el agua representa un coste de producción que puede reducirse significativamente, empleando tecnologías que permiten aumentar la eficiencia de los procesos. La fábrica de cerveza más grande del mundo pertenece a Grupo Modelo y se encuentra en México en el estado de Zacatecas, una región semi-árida a pesar de esto tienen un rendimiento de 2.6 litros de agua por litro producido de cerveza el mejor del mundo, el consumo promedio es de 8 litros pero puede variar de 12 hasta los 20 (Aguilar, 2019)

2.2.6 Lúpulo

Humulus lupulus L. planta herbácea, de la familia de las cannabáceas, trepadora, perenne, las flores masculinas son blancas y las femeninas amarillas agrupadas en racimos en forma de cabezuelas cónicas. Originaria de las zonas boscosas del hemisferio norte desde la antigüedad se conocen sus propiedades medicinales y desde el siglo IX la variedad femenina se emplea en la elaboración de cerveza para estabilizar la espuma, aromatizar y saborizar además tiene el efecto de alargar la vida de la cerveza por sus propiedades antisépticas.

Actualmente se cultiva en el hemisferio norte en América, Europa y Asia en el hemisferio sur en Argentina, Nueva Zelanda y Australia. Existen diferentes variedades cuya funcionalidad en la elaboración de cerveza depende de sus componentes (Cuadro 8) por ejemplo existen lúpulos de amargor, lúpulos de aroma o de función doble (Álvarez, *et al.* 2007)

Cuadro 8. Componentes del lúpulo (Álvarez, *et al.* 2007)

Componente	Características
1) Ácidos amargos	Representa entre el 5-20% del peso del lúpulo pueden ser α -ácidos o β -ácidos. La humolona comprende 35- 70% de α -ácidos y se usa para determinar la calidad y amargor. Son sensibles a la oxidación se busca conservar los lúpulos en lugares fríos y en condiciones anaeróbicas.



- 2) Aromáticos Se han logrado identificar 250 aceites esenciales diferentes en el lúpulo lo que le brinda una gran complejidad aromática sin considerar las interacciones entre estos que se producen durante la cocción.
- 3) Aceites esenciales Extremadamente volátiles por lo que se necesita conservar en un medio anaerobio o atmosferas modificadas de CO₂ o nitrógeno tampoco soportan una larga cocción por lo que los lúpulos aromáticos se agregan al final de la cocción y los de amargor antes.
- 4) Flavonoides prenilados Son una mezcla de chalconas, se han identificado treinta especies secretadas por las glándulas lupulinicas con efecto fitoestrogenico.

La funcionalidad del lúpulo se determina por sus características fisicoquímicas (Cuadro 9) algunas variedades imprimen tanto carácter a la bebida que se asocian estilos de cerveza a variedades específicas de lúpulo (Álvarez, *et al.* 2007)

Cuadro 9. Variedades y funcionalidad de algunos lúpulos (Álvarez, *et al.* 2007)

Nombre	País	Aroma / Sabor	Uso	α -acido %	B-acido %	Aceite Total	Estilos de Cerveza
Admiral	UK	Típico ingles / Amargor distintivo	Amargor	13-16.2	4.8-6.1	1.0-1.7	ESB (Extra Special Bitter)
Harmonie	RC	Agradable y especiado	Aroma	4.0-8.0	4.0-8.0	1.0-2.0	Pilsner, Lager
Cascade	US	Florales / especiados balanceado	Doble propósito	4.0-7.0	4.5-7.0	0.7-1.5	American ale



2.2.7. Levadura

Las levaduras son hongos microscópicos unicelulares que se reproducen por fisión binaria o gemación, la clasificación de estos se basa en características de su morfología como tamaño, forma que adhieren en líquidos o sólidos específicos (esféricas, ovaladas, alargadas) así como su fisiología si pueden desarrollarse o no en un determinado sustrato como lo pueden ser proteínas o carbohidratos también el uso que hacen o no de determinadas fuentes de nitrógeno, las características ambientales óptimas en las que realizan sus funciones metabólicas es un pH entre 4.5 - 6.5 que favorece el proceso de fermentación. (González & Valenzuela, 2003) en la elaboración de cerveza se emplean dos variedades de una misma cepa.

2.2.7.1. Tipos de levadura cervecera

El *Saccharomyces cerevisiae* es un tipo de levadura identificada en 1830 por Luis Pasteur como el organismo responsable de la fermentación, de morfología elíptica u ovoides con alta capacidad fermentativa.

Forma esporas, no asimila nitratos puede crecer en presencia de etanol, asimila sacarosa, glucosa, maltosa, pero no lactosa es de interés para la industria alimenticia debido a su papel en la elaboración de vinos, cerveza y pan. Las cervezas que emplean este tipo de levadura se conocen como "Ale" o de Alta fermentación, son muy vigorosas, con un rango óptimo de entre 18 a 24°C. *S.carlsbergensis* es una cepa de *S.cerevisiae* identificada en 1883 en la cervecería Carlsberg por Emil Christian la cual se emplea para elaborar cervezas tipo "Lager" o de baja fermentación se distingue por el cambio en la temperatura en el que realiza sus procesos metabólicos entre 7 y 12°C se distinguen por la claridad y estabilidad del producto final.



Las levaduras son muy sensibles a las condiciones del medio en el que se desarrollan, (Cuadro 10) tanto que pueden presentar variaciones incluso dentro de una misma instalación por los diferentes aspectos que pueden afectar su crecimiento (Díaz, 2013)

Cuadro 10. Factores de crecimiento de la levadura (Suarez, *et al.* 2016)

Factor	Característica
Presión osmótica	La nutrición de la levadura es un proceso osmótico por lo que se deben evitar medios hipertónicos o hipotónicos.
Temperatura	Temperatura muy altas inducen la reducción de la biomasa por el descenso de proteínas y aminoácidos libres, temperaturas muy bajas inducen un estado de latencia.
Presencia de luz	Nociva, debido a que no pueden aprovechar esta radiación.
pH	Se mantiene un medio con tendencia acida el cual puede soportar la levadura pero limita a otros organismos.
Alcohol	Tiene un efecto inhibitor alrededor del 8%

2.3. Procesos de la elaboración de cerveza

2.3.1 Proceso de malteado

La malta está constituida por granos de cereales que se han sometido a un proceso riguroso y controlado de germinación que es interrumpida por un secado (Cuadro 10)

Cada productor de malta mantiene sus propios estándares de humedad, temperatura y tiempo, el objetivo es estimular el proceso por el cual se producen al interior de la semilla las reacciones bioquímicas que liberan enzimas necesarias para convertir el almidón presente en el grano en carbohidratos que se emplean como reserva energética y material estructural durante el ciclo natural de crecimiento de la planta y que se emplearan como fuente energética durante la fermentación de la cerveza a los granos malteados también se les denomina granos con endospermo degradado. (Houg, 1985) La cebada es el grano



más común para el malteado en la producción cervecera por su alto contenido de enzimas otros granos no poseen el poder diastático necesario para convertir por completo su propio contenido de almidón de manera completa y eficiente. (Gallardo, *et al.*2018)

Cuadro 11. Etapas del proceso de malteado (Gallardo, *et al.*2018)

Etapa	Características
1) Selección	Se cuida la integridad del grano, presencia de cuerpos extraños, carga microbiana, sus características morfológicas, el contenido proteico y de humedad
2) Remojo	El grano absorbe agua en condiciones aeróbicas para fomentar la germinación se cuida el nivel de hidratación para evitar el ahogo del grano.
3) Germinación	Debe fomentar el desarrollo del embrión para desarrollar las enzimas necesarias manteniendo la humedad apta, la temperatura y evitar el acumulación de CO ₂
4) Secado	Remover la humedad para prevenir su crecimiento y facilitar su almacenamiento cuando se emplea alta temperatura para eliminar la humedad se crean niveles de tostado que pueden sumar características organolépticas al producto final.

2.3.2. Fermentación como proceso metabólico

Es un proceso catabólico (degradación) que sucede en el citosol de la célula en el cual moléculas complejas son reducidas a otras sencillas, mediante las cuales se obtiene energía por fosforilación a nivel de sustrato en forma de trifosfato de adenosina (ATP) la fermentación comparte con la respiración celular el primer paso, la glucolisis (1 glucosa de 6C -> 2 piruvato de 3C) pero seguirá una ruta metabólica anaeróbica por lo que no se dará una cadena de transporte de electrones.

Esto ocasiona que el receptor final de esos electrones será una molécula orgánica, Sus diferentes tipos se emplean ampliamente en la industria alimenticia (Martínez. G., 2014)

Como proceso metabólico representado en la figura 4 podemos distinguir dos etapas 1) glucolisis en la que se da la producción de energía en forma de 2 ATP y la siguiente 2) que es la fermentación como tal, cuya función es la de volver el poder reductor 2 NADH a su fase oxidada 2 NAD⁺ para que continúe el proceso de producción energética en la fase 1) (Martínez. G., 2014)

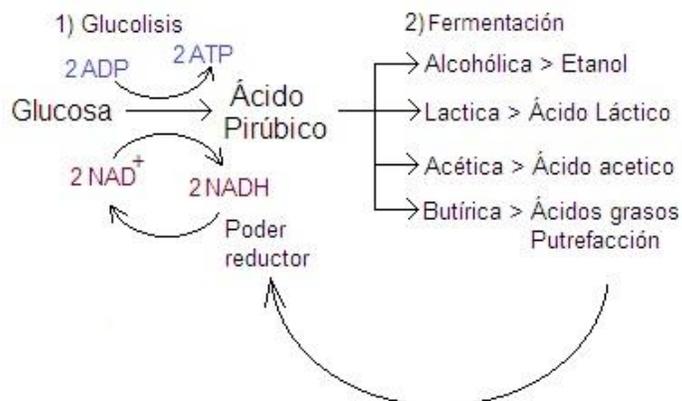


Figura 4. Fermentación (Martínez. G., 2014)

La levadura *S.cerevisiae* es el microorganismo que hace uso de los azúcares reductores como la glucosa para satisfacer sus necesidades energéticas como que se detalla en la figura 5 forman ácido pirúvico que se oxida para obtener acetaldehído que luego formara etanol y CO₂ (Martínez. G., 2014)

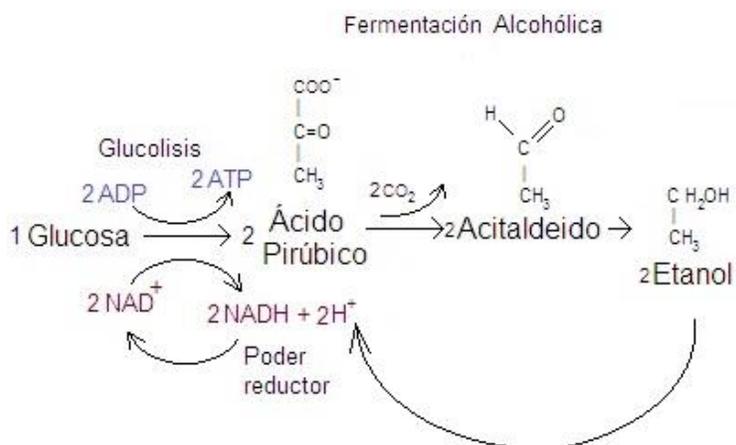


Figura 5. Fermentación alcohólica (Martínez. G., 2014)

2.3.3 Aspectos generales del proceso cervicero

La descripción del proceso de elaboración de cerveza tomando como referencia a Houg (1985) se presenta en la figura 6.

- 1) Malteado de grano mediante el remojo, germinación, secado-tostado.
- 2) Acondicionamiento triturar la cebada malteada para obtener una harina grosera



Añadir agua caliente para estimular las enzimas de la malta a solubilizar el endospermo degradado de la malta molida.

- 3) Elaboración del mosto dulce, separar el extracto (mosto) de sólidos agotados (gabazos) mediante la aspersion de agua caliente
Hervir el mosto con lúpulo, se detiene la acción enzimática, se esteriliza, se aromatiza y agrega amargor (lúpulo)
- 4) Clarificar, enfriar y airear el mosto para fomentar el crecimiento de las levaduras
Inocular y fermentar el mosto con la levadura para convertir los hidratos de carbono en alcohol y dióxido de carbono.
- 5) Madurar, guardar y clarificar la cerveza.
Envasar la cerveza tras haberla esterilizado por filtrado o pasteurizado.

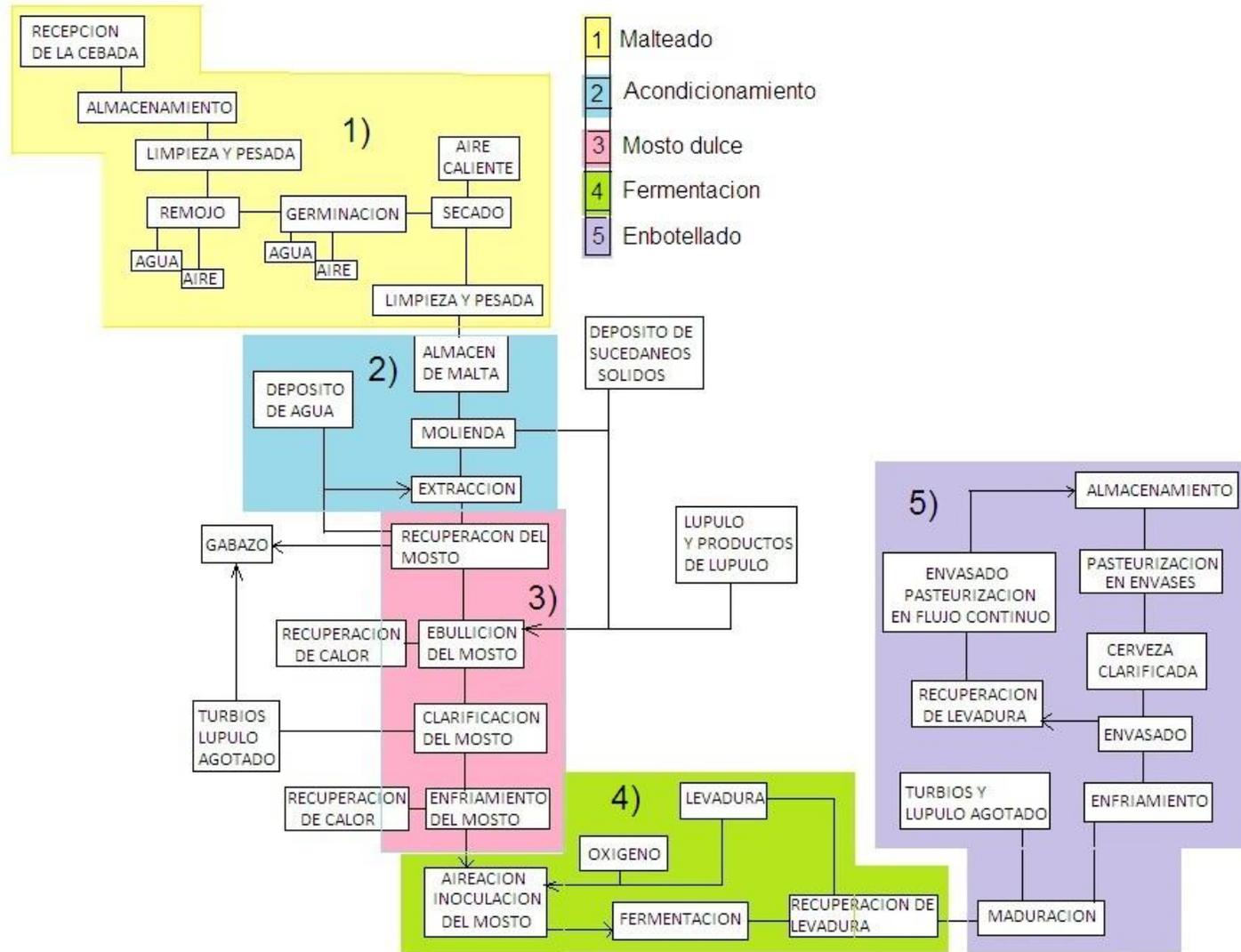


Figura 6. Diagrama de flujo de elaboración de cerveza (Houg, 1985)



3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Comparar el contenido de azúcares de los diferentes mostos obtenidos al incorporar *Zea mays* y *Oryza sativa* como fuente adjunta de carbohidratos en la elaboración de cerveza “Ale”.

3.2. Objetivos particulares

3.2.1 Caracterizar los granos de arroz, maíz y cebada

3.2.2 Acondicionar los granos de arroz maíz y cebada

3.2.3 Obtener el mosto dulce de las diferentes combinaciones de grano

3.2.4 Analizar fisicoquímicamente los mostos obtenidos

3.2.5 Comparar los resultados obtenidos para evaluar calidad de carbohidratos

4. Hipótesis

Se puede elaborar una bebida fermentada a base de cebada malteada que contenga $\geq 30\%$ de grano no malteado sea maíz o arroz y mantenga las características bioquímicas y organolépticas que la distingua como cerveza.

5. Metodología

5.1 Etapas

Se definieron dos etapas del experimento, la primera fue la identificación y acondicionamiento de los granos, la segunda, la extracción del mosto y la medición de sus propiedades fisicoquímicas para determinar el aporte de carbohidratos que pueden emplearse en el proceso de fermentación.

5.1.1 Etapa I

Selección de granos: Como medida de control se debe conocer la humedad contenida en los granos de maíz y de arroz ya que altos índices de humedad favorecen el crecimiento de hongos nocivos y dificulta la molienda.

La humedad de la malta también se midió para asegurar su calidad pero la medición de mayor interés para este estudio fue el poder diastático, el cual es medido en grados Lintner si la malta es de origen americano o Windisch-Kolbach si es europea que determinan la capacidad de transformar los almidones en azúcares digeribles.



Entre los 35-40°L y los 106-124°WK la malta tiene la capacidad de autoconvertirse totalmente en azúcares fermentables (Martínez, 1996) las propiedades de los granos empleados en el estudio se detallan en el cuadro 11.

Cuadro 12. Caracterización de los granos a emplear

	Arroz	Maíz	Cebada
Tipo	Grano largo	Dentado	2H
Variedad	Sinaloa mediano	Tuxpeño	Pale ale, Avangard
Característica de interés*	Contenido de carbohidratos 28g de cada 100g	Contenido de carbohidratos 24.8% de cada 100g	Poder enzimático 200 °KW
Humedad*	10%	12%	4,5%

Características de interés*, Humedad* (Avangard, 2017)

Formulación de receta estándar 100% grano presentado en el cuadro 12 empleando como referencia las proporciones para elaborar un galón de cerveza

Cuadro 13. Conversión de lote de 1 galón a litros

Formula base	1 Galón	3.8 litros	1.26 litros
Malta	2.5 Libras	1.134 kilos	378 g
Lúpulo	1.77 Onzas	5 G	1.6 g
Levadura	0.388 Onzas	5.5 G	1.83 g
Rendimiento	70 %	70 %	70 %

(Ingeniería química, 2015)

Acondicionamiento de los granos

Todos los granos fueron molidos para facilitar la extracción de los carbohidratos la cebada malteada contiene enzimas como la diastasa cuya función es catalizar la hidrólisis primero transformando el almidón en dextrina y está en azúcares simples (Martínez, 1996) como maltosa y glucosa. Al usar granos no manteados de maíz y arroz se emplearon métodos físicos, como el aumento de temperatura (Cuadro 13) en medio líquido para ayudar a degradarlos y hacer los carbohidratos accesibles.

Cuadro 14. Parámetros propuestos en degradación por temperatura de los granos

	Temperatura	tiempo	Relación grano/agua
Arroz	80°C	30 min	50gx300ml
Maíz	80°C	30 min	50gx300ml

5.1.2 Etapa II Proceso de extracción del mosto



Cuadro 15. Diseño de la práctica.

VARIABLES	Parámetro	Respuesta	Sistemas físicos
-Granos Arroz Cebada Maiz	-% de grano 100, 66.7, 50, 33.3, 16.7	-Densidad Medido en densidad especifica	Hidrolizado por Δ temp
			Separación solido / liquido
			Maceración escalonada
			Abatimiento de temp

Cuadro 16. Equipo y materiales a utilizar.

Equipo	Cant	Equipo	Cant	Materiales	Cantidad/Unidad
Vasos de precipitados 400ml	10	Pinzas de sujeción	5	Malta	1.26 kg
Agitador de vidrio	2	Conductímetro	1	Arroz	1.26 kg
Agitador magnético	10	pHmetro digital	1	Maíz	1.26 kg
Parrilla eléctrica	5	Refractómetro	1	Lúpulo	48 g
Calentador de agua 12L	1			Agua	66 L
Colador	1			Alcohol	300ml
Macerado	1			Yodóforo	300ml
Fermentador	10			Solución	
Probeta 500 ml	5			Estabilizada	
Densímetro para bebidas	1			De Acido	
Termómetros	5			Peracético	
Soporte universal	5			Y peróxido	500ml

5.2 DOE Diseño de Experimento

Se empleó un diseño de mezclas con superficie de respuesta en la que los objetos de investigación se componen de varios ingredientes, (3 tipos de grano) y la respuesta (densidad) depende de las proporciones de los diferentes productos incluidos (cuya suma debe ser 100%), se empleó un programa informático para generar las proporciones de mezclado y se hicieron tres repeticiones.

Cuadro 17. Porcentajes y gramajes de mezcla.



Lote	Cebada		Maíz		Arroz	
1	0%		0.00%		100.00%	378g
2	100%	378g	0.00%		0.00%	
3	0%		100.00%	378g	0.00%	
4	0%		50.00%	189g	50.00%	189g
5	50%	189g	0.00%		50.00%	189g
6	50%	189g	50.00%	189g	0.00%	
7	33.3%	125.95g	33.33%	125.95g	33.33%	125.95g
8	16.7%	64.25g	16.67%	64.25g	66.67%	249.50g
9	66.7%	249.5g	16.67%	64.25g	16.67%	64.25g
10	16.7%	64.25g	66.67%	249.25g	16.67%	64.25g

5.3 Desarrollo de la práctica

El proceso de extracción empleado para obtener el mosto se representa en la Figura 7 los granos no malteados se sometieron a un degradado previo mediante aumento de temperatura (Figura 8) antes de temperarse para ser integrados al macerado y obtener el mosto dulce (Figura 9), después se filtraron para retirar el grano.

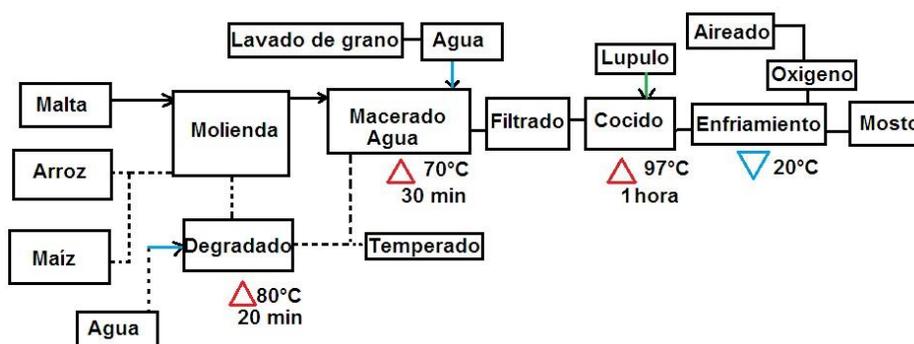


Figura 7. Obtención del mosto mediante un macerado escalonado.



Figura 8. Acondicionamiento de granos no malteados y macerado.

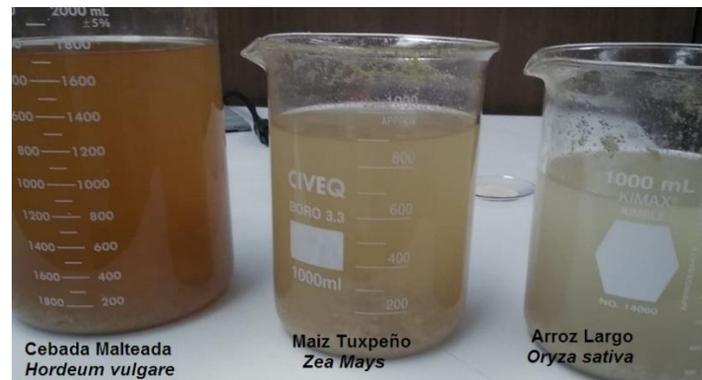


Figura 9. Mostos dulces de los tres granos.

Se elaboraron 10 lotes de empleando 1.134 kg de cada grano y 16g de lúpulo para obtener 1.26 litros de cada mezcla, el total obtenido fue de 12.6 Litros por cada serie, el proceso de extracción del mosto se repitió dos veces para obtener un total de 30 ensayos como se estableció en el diseño de experimento.

Una vez filtrados se elevó su temperatura hasta los 97 grados centígrados a los 45 minutos se adiciono el lúpulo variedad “El Dorado” País de origen: USA, Contenido de Alfa Ácidos: 14-16%, Contenido de Beta Ácidos: 7-8%, Notas de sabor y aroma característicos: fruta tropical, hierva, chabacano, durazno, Este lúpulo tiene una funcionalidad (Figura 10) aromática y saborizante.



Figura 10. Funcionalidad del lúpulo en el periodo de hervido de 90 min



Este proceso se denomina cocido, (Figura 11) después de transcurrido el tiempo de cocción se enfrió empleando un tubo refrigerante de serpentín con una temperatura de flujo de entrada de 10°C y se llevó el mosto obtenido hasta temperatura ambiente alrededor de 20°C para realizar las mediciones (Figura 12).



Figura 11. Cocido, Lúpulo y Refrigerante

Las mediciones que se realizaron al mosto fueron:

Densidad específica – Se empleó un densímetro DENS para líquidos más pesados que el agua. Que primero se calibro con agua a 20°C como lo sugiere el manual.

Conductividad – Se empleó un conductímetro DeltaOHM Modelo 2106.1 que se calibro con 4 soluciones tampón de KCL a 25°C de acuerdo al manual.

pH – Se empleó un medidor OAKTON pH/mV/°C modelo pH 1000 que se calibro con 5 soluciones buffer de pH conocido a 20°C de acuerdo al manual.

Color – Se empleó el parámetro SMC para clasificar el color de los mostos.

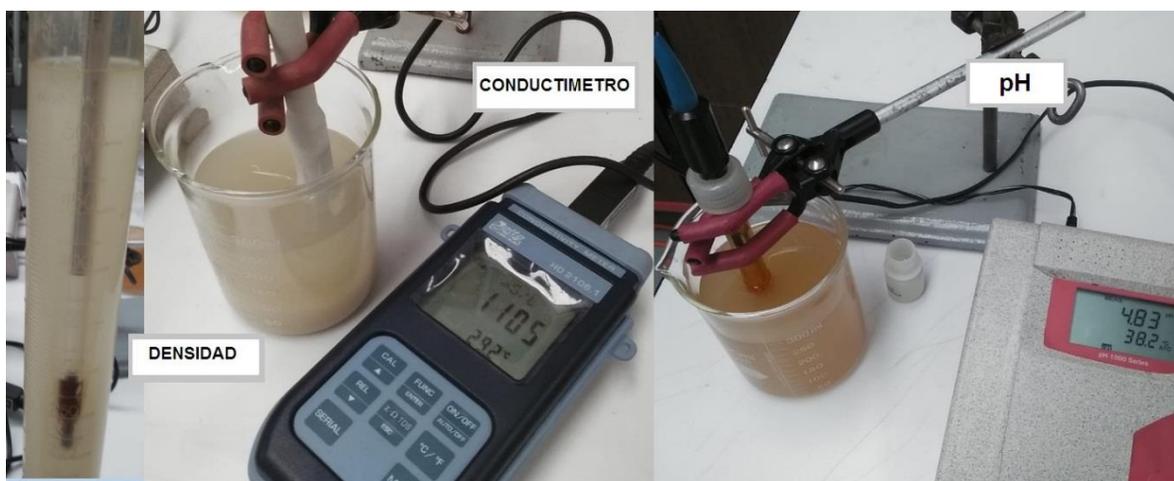


Figura 12. Mediciones realizadas al mosto



6. Resultados Cuadro 18. Resultados de los mostos obtenidos y sus combinaciones.

StOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Cebada	Maíz	Arroz	DI	µS	pH	SRM
1	1	1	1	0	0	1	1.056	479	4.51	2.8
15	2	2	1	0.5	0	0.5	1.059	989	5.03	4.5
4	3	2	1	0	0.5	0.5	1.060	789	4.75	2.8
17	4	0	1	0.33	0.33	0.33	1.061	873	4.92	4.0
16	5	2	1	0.5	0.5	0	1.063	1096	4.83	4.5
20	6	-1	1	0.16	0.66	0.16	1.062	1112	4.09	3.4
25	7	2	1	0.5	0	0.5	1.059	989	5.03	4.5
3	8	1	1	0	1	0	1.064	1127	4.50	2.8
29	9	-1	1	0.66	0.16	0.16	1.060	994	5.36	5.4
7	10	0	1	0.33	0.33	0.33	1.061	873	4.92	4.0
27	11	0	1	0.33	0.33	0.33	1.065	870	4.88	4.3
22	12	1	1	1	0	0	1.059	970	4.80	5.6
2	13	1	1	1	0	0	1.061	972	4.82	5.9
24	14	2	1	0	0.5	0.5	1.060	793	4.82	2.8
10	15	-1	1	0.16	0.66	0.16	1.062	1109	4.10	3.4
8	16	-1	1	0.16	0.16	0.66	1.058	564	4.64	3.4
11	17	1	1	0	0	1	1.057	470	4.50	2.8



14	18	2	1	0	0.5	0.5	1.060	789	4.75	2.8
26	19	2	1	0.5	0.5	0	1.063	1096	4.83	4.5
9	20	-1	1	0.66	0.16	0.16	1.06	990	5.33	5.0
23	21	1	1	0	1	0	1.064	1129	4.52	2.8
28	22	-1	1	0.16	0.16	0.66	1.058	564	4.64	3.4
6	23	2	1	0.5	0.5	0	1.063	1090	4.80	4.5
30	24	-1	1	0.16	0.66	0.16	1.062	1112	4.09	3.4
13	25	1	1	0	1	0	1.064	1127	4.50	2.8
21	26	1	1	0	0	1	1.055	475	4.49	2.8
5	27	2	1	0.5	0	0.5	1.059	989	5.03	4.5
18	28	-1	1	0.16	0.16	0.66	1.058	571	4.76	3.4
19	29	-1	1	0.66	0.16	0.16	1.060	994	5.36	5.4
12	30	1	1	1	0	0	1.059	972	4.82	5.6

StOrder: Corridas aleatorias

RunOrder: # corridas en orden (30)

PtType: Patron estadístico

Blocks: Lote (1)

DI: Densidad Inicial

Max= 1.064 (Maíz)

Min= 1.055 (Arroz)

μ S: Conductividad

Max= 1127 (Maíz)

Min= 479(Arroz)

pH: Potencial de Hidrogeno

Max=5.36 (Cebada 66%)

Min= 4.09 (Maíz 66%)

SRM: Estándar para el color de cerveza

Max=5.9 (Cebada)

Min= 2.8 (Maíz, Arroz)



Se realizó el análisis de datos mediante programa informático (Figura 13) empleando un diseño de mezclas, que es una adaptación de la superficie de respuesta en la que todos los niveles de cada uno de los factores debe dar un valor fijo en este caso 100% con lo que se busca identificar las variaciones de densidad (DI) del mosto obtenido.

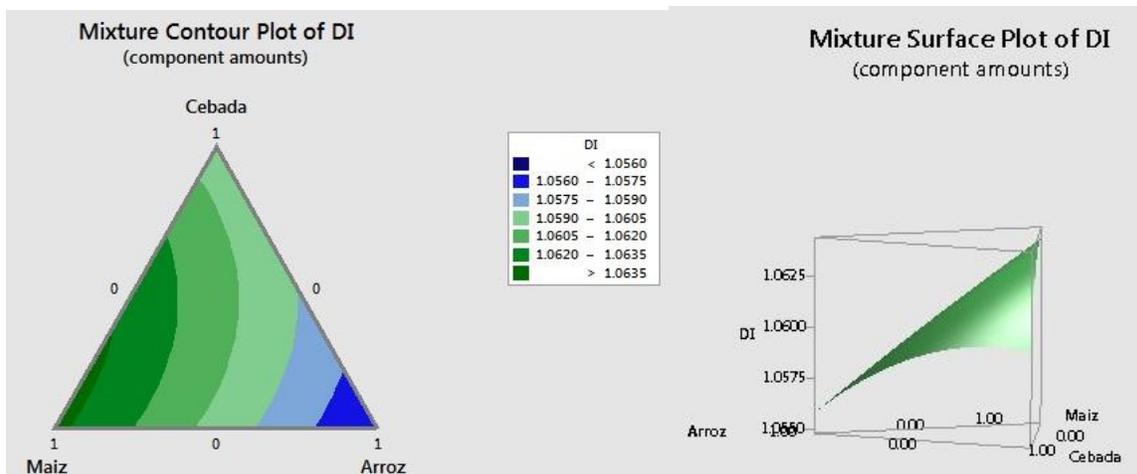


Figura 13. Grafica de contorno y superficie de la densidad inicial del mosto

La grafica presenta el 100% de grano con el número 1 y las diferentes densidades expresadas con diferentes colores, siendo el azul las menores y el verde oscuro las más altas expresadas en DE (densidad especifica) se puede apreciar la tendencia de aumento cuando la respuesta se encuentra cerca de maíz y cebada. En la superficie de respuesta se muestra como se eleva la densidad en maíz.



7. Discusión

Se comparó la desviación estándar de la densidad específica obtenida del mosto 100% grano de maíz (1.064) con los resultados presentados en “Desarrollo de cerveza artesanal ale y lager con malta de maíz (*Zea mays*), cebada (*Hordeum vulgare*), carbonatada con azúcar y miel de abeja”. (Mencia & Pérez, 2016). Los cuales fueron de 1.029 para un mosto de maíz malteado tostado a 110°C y de 1.039 para maíz tostado a 210°C el cual obtuvieron en un proceso de macerado con temperaturas entre 65-72 °C. La herramienta de comparación de la superficie de respuesta nos permitió identificar que el porcentaje de arroz es la variable de menos influencia en la combinación (Figura 13) en comparación al maíz, el cual permite obtener densidades altas lo cual indica la cantidad de azúcares presentes en el mosto luego de un proceso de maceración una libra de azúcar blanca presenta una densidad de 1046 cuando se disuelve en un galón de agua. Esta densidad expresa una relación del rendimiento ideal que se podría obtener, es posible que la elevada temperatura de gelificación necesaria del almidón contenido en el tipo de grano seleccionado en combinación con su nulo poder enzimático sean la causa de este bajo aporte de azúcares. El proceso se puede optimizar si es el caso de buscar mayores densidades y con ello mayor rendimiento (Figura 14) se propone una combinación de 90% Maíz y 10 % Cebada y una DI de 1.063.

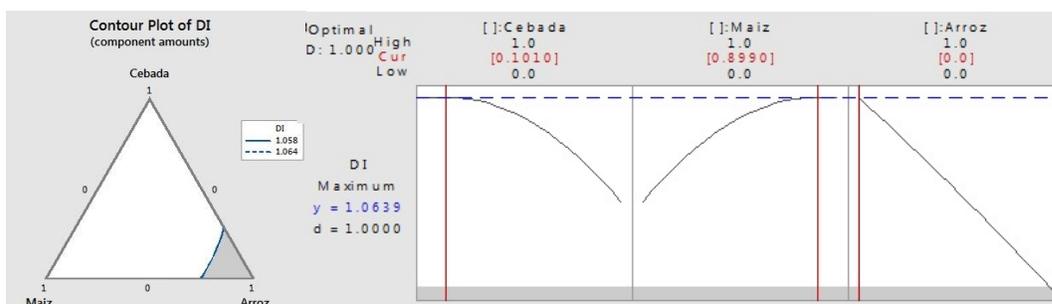


Figura 14. Comparación y Optimización de mezcla.



8. Conclusiones

El acondicionamiento de los granos no malteados propuesto es efectivo para hacer accesibles los azúcares contenidos en los granos de *Zea mays* variedad tuxpeño pero no es efectivo para *Oryza sativa* variedad Largo Sinaloa mediano, El acondicionamiento permite obtener mostos que integren un contenido superior al 30%, con lo que se comprueba la hipótesis propuesta. En el caso de oryza sativa las características del almidón contenido en sus granos ofrecieron resistencia a los factores de temperatura y tiempo del acondicionamiento y no presentaron el mismo efecto de degradación.

El rendimiento del proceso fue de un 75 % para las combinaciones de maíz y cebada malteada 70% para maíz 73% para cebada y 56% de rendimiento para el arroz con lo que se manifiesta la importancia del poder enzimático del grano malteado además podemos acotar que las condiciones de los resultados obtenidos depende de:

- 1.- Un adecuado almacenamiento previo de los granos (% de humedad)
- 2.- La variedad de grano y sus propiedades fisicoquímicas (Tipo de almidón)
- 3.- Eficiencia del método de macerado para la obtención del mosto.
- 4.- Poder enzimático del grano malteado cuando se usa en combinaciones.

9. Bibliografía

Aguilar. A. (2019). La planta más eficiente de Grupo Modelo está en Zacatecas. 4/4/2019, de Expoknews. Sitio web: <https://www.expoknews.com/la-planta-mas-eficiente-de-grupo-modelo-esta-en-zacatecas/>

Álvarez, J. R. M., Bellés, V. V., & Marín, A. V. (2007). El lúpulo contenido en la cerveza, su efecto antioxidante en un grupo controlado de población. SEDCA. Universidad de Valencia. 5/04/2019 Sitio web: <http://nutricion.org/publicaciones/pdf/Estudio%20CervezaySalud.pdf>

Avangard Malz. (2017). Pale Ale Malt. Specifications. Consultado el 20/4/2019. Sitio web:



<https://www.avangard->

<malz.de/upload/iblock/eda/edaef6836cad3142411fe258947c45a2.pdf>

Cerda & Vázquez (2017) CALIDAD FÍSICA Y CULINARIA DE ARROZ. UAM-I 8/04/2019 Sitio web: <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume2/3/1/6.pdf>

Cerveceros de México. (2018). Cerveza Mexicana, líder en exportación en el mundo. 12/03/2019, de Cámara Nacional de la Industria Cervecera y la Malta de México Sitio web: <https://cervecerosdemexico.com/2018/09/11/cerveza-mexicana-lider-en-exportacion-en-estados-unidos-y-el-mundo/>

CONABIO. 2012. Razas de Maíz de México. 20/03/2019, de Biodiversidad mexicana Sitio web: <https://www.biodiversidad.gob.mx/usos/maices/razas2012.html>

Diario Oficial de la Federación. (2017) NORMA Oficial Mexicana NOM-199-SCFI-2017, Bebidas alcohólicas-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. 18/03/2019, de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5502882&fecha=30/10/2017

Díaz, M. S. (2013). Cerveza: componentes y propiedades. Universidad de Oviedo. 9/4/2019 Sitio web: http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/19093/8/TFM_%20Maria%20Suarez%20Diaz.pdf

Dickerson, G. W. (1992). Specialty corns. Guide H (USA). 29/03/2019, de Sitio web: https://aces.nmsu.edu/pubs/_h/H232.pdf

FAO. 1993. El maíz en la nutrición humana. 25/03/2019, de Sitio web: <http://www.fao.org/3/t0395s/T0395S00.htm#Contents>

Fálder. A. (2016). Enciclopedia de los alimentos. Cervezas. 17/03/2019, de Dialnet Sitio web: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_DYC/DYC_2006_87_107_118.pdf

FESC Cuautitlán. (2017). Arroz (*Oryza Sativa*). 30/03/2018, de Taller de Cereales Sitio web: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=artic



[le&id=20&Itemid=24](#)

FESC Cuautitlán. (2017). Cebada (*Hordeum vulgare* y *distichum* L.). 22/03/2018, de Taller de Cereales Sitio web:

http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=19&Itemid=23

Forbes México. (2017). México, el rey mundial de las exportaciones de cerveza. 10/03/2019, de Forbes Sitio web: <https://www.forbes.com.mx/mexico-el-rey-mundial-de-las-exportaciones-de-cerveza/>

Gallardo et al. (2018) Perfeccionamiento del proceso de malteado de sorgo UDG-11 en la elaboración de bebidas para enfermos celíacos. 2/04/2019 De Centro Azúcar. Sitio web: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v45n2/caz05218.pdf>

González, A., & Valenzuela, L. (2003). *Saccharomyces cerevisiae*: Un modelo de estudio desde hace más de cien años. UNAM. 6/04/2019 Sitio web: <http://www.biblioweb.tic.unam.mx/libros/microbios/Cap16/>

Houg J.S. (1985) *the Biotechnology of Malting and Brewing*. Cambridge University Press. 4/04/2019 Sitio web: <http://www.biologica.info/biblioteca/HoughxxxBiotechnologiaCerveza.pdf>

Ingeniería Química. (2015). 5 Pasos para fabricar cerveza casera. 10/4/2019. Sitio web: <http://www.ingenieriaquimica.org/recursos/5-pasos-para-fabricar-cerveza-casera>

Juliano, B. O. (1985) *Rice Chemistry and Technology*. 2nd Edition American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, 9/04/2019

Juvenal & Ramos (2010) *Venta de Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma, la hegemonía de la Inversión Extranjera Directa*. UAEM 10/4/2019. Sitio web: <http://economia.uaemex.mx/Publicaciones/e301/31-JuvenalyRicardo.pdf>

Mares, Marco. A. (2018). México cervecero del siglo 21. 15/03/2019, de *El Economista* Sitio web: <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Mexico-cervecero-del-siglo-21-20180605-0036.html>



- Mencina & Perez. (2016) Desarrollo de cerveza artesanal ale y lager con malta de maíz (*Zea mays*), cebada (*Hordeum vulgare*), carbonatada con azúcar y miel de abeja. 30/05/2019. Sitio web: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5772/1/AGI-2016-T027.pdf>
- Martínez, Pérez. (1996) Estudio de dos métodos para el análisis de Alfa Amilasa en Malta. 20/04/2019. Sitio web: <http://148.206.53.84/tesiuami/UAM%20LOTE%205/chapingo0062.pdf>
- Marínez. G. (2014) Libro Electronico de Bioquímica. UAA, Departamento de Química. 15/4/2019. Sitio web: <http://libroelectronico.uaa.mx/capitulo-12-otras-vias/fermentacion.html>
- Pincioli. M. (2010). Proteínas de arroz, propiedades estructurales y funcionales. 1/04/2019. De CIDCA Sitio web: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/1828/Documento_completo_.pdf?sequence=3
- SE (2015) Industria de la cerveza en México. Secretaria de Economía México. 10/4/2019. Sitio web: <https://www.gob.mx/se/articulos/industria-de-la-cerveza-en-mexico>
- Suárez-Machín, C., Garrido-Carralero, N. A., & Guevara-Rodríguez, C. A. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. ICIDCA. 10/4/2019. Sitio web: <https://www.redalyc.org/html/2231/223148420004/>
- Rahman, M.M., Lee, K.E., Lee, E.S., Martin, M.N., Lee, D.S., Yun, J.S., Kim, J.B., and Kang, S.G. (2013). The genetic constitutions of complementary genes Pp and Pb determine the purple color variation in pericarps with cyanidin-3-O-glucoside depositions in rice. *J. Plant Biol.* 7/04/2019 Sitio web: https://www.researchgate.net/publication/323957927_Two_Transcription_Factors_TaPpm1_and_TaPpb1_CoRegulate_the_Anthocyanin_Biosynthesis_in_Purple_Pericarp_of_Wheat