

UNPA
Universidad del Papaloapan
Terra Uberrima, Mens Aperta

**ELABORACIÓN DE UN NUEVO ESTILO DE CERVEZA A PARTIR DE
ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta*) COMO ADJUNTO NO
CONVENCIONAL: CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y SENSORIAL.**

T E S I S

Para obtener el título de:

INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

JOEL ALFREDO GONZALEZ MARTINEZ

DIRECTOR:

DR. ALEJANDRO APARICIO SAGUILÁN

CO-DIRECTOR:

ING. CARLOS GÓMEZ MAYORA



UNIVERSIDAD DEL PAPAALOAPAN

CAMPUS TUXTEPEC

San Juan Bautista Tuxtepec, Oax., a 10 de Abril de 2019

C. JOEL ALFREDO GONZÁLEZ MARTÍNEZ
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS
MATRICULA: 11070411

Sirva la presente para informarle que los miembros de la Comisión Revisora **REVISÓ Y APROBÓ** el trabajo de investigación denominado **"Elaboración de un nuevo estilo de cerveza a partir de almidón de yuca (*Manihot esculenta*) como adjunto no convencional: caracterización fisicoquímica y sensorial"**, mismo que será presentado como prueba escrita del acto de recepción profesional, para obtener el Título de Ingeniero en Alimentos.

Por lo anterior y de acuerdo a los lineamientos institucionales, se le da trámite legal para que proceda a su **IMPRESIÓN** el trabajo presentado.

Atentamente
terra uberrima, mens aperta
Bou Lo-tama, chí jí jú


M.C. MIGUEL ÁNGEL GARCÍA MUÑOZ
JEFE DE CARRERA
INGENIERÍA EN ALIMENTOS



c.c.p. Servicios escolares. Para su conocimiento
c.c.p. Archivo



Universidad del Papaloapan Campus Tuxtepec. Circuito Central No. 200. Col. Parque Industrial, C.P. 68301, Tuxtepec, Oax. Tel: 01 287 87 5 92 40. www.unpa.edu.mx



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

CAMPUS TUXTEPEC

San Juan Bautista Tuxtepec, Oax., a 10 de Abril de 2019

LIC. YESENIA BARRIENTOS ARENAL
JEFA DEL DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES

Por medio de la presente le informo que la Jefatura de Carrera a mi cargo, ha tenido a bien designar como sinodales a los profesores investigadores:

TITULARES:

Dr. Andrés Aguirre Cruz	Presidente
Dra. Delia E. Paramo Calderón	Secretario
Dr. Alejandro Aparicio Saguilán	Vocal

SUPLENTE:

Dr. Aurelio Ramírez Hernández
M.C. Rubí G. Utrilla Coello

Para fungir como sinodales en el examen profesional del **C. JOEL ALFREDO GONZÁLEZ MARTÍNEZ**, pasante de la carrera de Ingeniería en Alimentos con número de matrícula **11070411** para obtener el Título de Ingeniero en Alimentos.

Sin otro asunto, reciba un cordial saludo.

Atentamente
terra uberrima, mens aperta
Bøu Lo-tama chí jìjù

M.C. MIGUEL ÁNGEL GARCÍA MUÑOZ
JEFE DE CARRERA
INGENIERÍA EN ALIMENTOS

c.c.p. Sustentante. Para su conocimiento
c.c.p. Archivo



CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
RESUMEN	IX
I.-INTRODUCCIÓN	1
II.-ANTECEDENTES.....	3
II.1. Cerveza.	3
II.1.1. Ingredientes de la cerveza	4
II.1.2. El papel de <i>Saccharomyces</i>	6
II.1.3. Fermentación alcohólica.....	7
II.2. Proceso de obtención.....	8
II.2.1. Molienda de la malta.....	9
II.2.2. Maceración	10
II.2.3. Filtración del mosto.....	11
II.2.4. Cocción del mosto.....	12
II.2.5. Sedimentación de las proteínas coaguladas	12
II.2.6. Enfriamiento de mosto	13
II.2.7. Fermentación	13
II.2.8. Reposo.....	14
II.2.9. Envasado.....	15
II.3. Evaluación química de la cerveza	15
II.4. Diferentes estilos de cerveza	15
II.5. Adjuntos convencionales.....	17
II.5.1. Cereales.....	17
II.6. Adjuntos no convencionales	19
II.6.1. Tubérculos	19
II.7. Carbohidratos.....	21
II.7.1. Almidón	21
III.-HIPÓTESIS	24
IV.-JUSTIFICACIÓN	24

V.-OBJETIVOS	26
V.1.-General	26
V.2.-Específicos.....	26
VI.-MATERIALES Y MÉTODOS	26
VI.1. Materiales	26
VI.2. Aislamiento del almidón de yuca (<i>Manihot esculenta</i>).....	27
VI.3. Determinación de los cálculos de malta y adjunto que se utilizará.	27
VI.4. Elaboración de la cerveza con almidón de yuca como adjunto no convencional.	28
VI.4.1. Molturación del grano:	28
VI.4.2. Maceración del adjunto:	29
VI.4.3. Maceración de la malta-adjunto:	30
VI.4.4. Recirculación y lavado del grano:	31
VI.4.5. Cocción del mosto:	32
VI.4.6. Enfriamiento del mosto:	32
VI.4.7. Fermentación:.....	32
VI.4.8. Embotellamiento y maduración:	33
VI.5. Caracterización fisicoquímica de la cerveza	33
VI.5.1. Determinación del pH y color	33
VI.5.2. Determinación de CO₂.....	34
VI.5.3. Determinación de los azúcares reductores	34
VI.5.4. Determinación de unidades de amargor	35
VI.5.5. Evaluación del tiempo de retención de espuma.....	35
VI.5.6. Determinación del contenido alcohólico por el método gravimétrico y Cromatografía de gases.....	36
VI.5.7. Extracto aparente	37
VI.5.8. Extracto de mosto original (EMO).....	37
VI.6. Evaluación sensorial de la cerveza	38
VII.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
VII.1. Caracterización fisicoquímica de la cerveza	39
VII.1.1. pH y color	40

VII.1.2. Contenido de CO ₂	42
VII.1.3. Azúcares reductores	43
VII.1.4. Unidades de amargor	44
VII.1.5. Tiempo de retención de espuma.....	45
VII.1.6. Contenido alcohólico	46
VII.1.7. Extracto aparente	48
VII.1.8. Extracto de mosto original (EMO).....	49
VII.2. Evaluación sensorial.	50
VIII.-CONCLUSIONES.....	53
IX.-PERSPECTIVAS.....	53
X.-BIBLIOGRAFÍA.....	54
ANEXO	59
Apéndice A	59
Apéndice B	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales entidades productoras de cerveza en México.....	1
Figura 2. Cervezas de diferentes estilos.	3
Figura 3. Etapas del malteado.....	5
Figura 4. Inflorescencias de plantas femeninas de lúpulo.	6
Figura 5. a) Levadura de fermentación baja para cerveza y b) Levadura de fermentación alta para cerveza.	7
Figura 6. Malta molturada.....	9
Figura 7. Adición de malta molturada al agua.	10
Figura 8. Agua de riego a través del lecho filtrante.	11
Figura 9. Trub caliente en el fondo de la olla de recirculación en la obtención de mosto lupulado para cerveza tipo pale-ale.....	13
Figura 10. Rampas de temperatura y tiempos de reposo para la maceración de la malta y el almidón de yuca.	30
Figura 11. Rampas de temperaturas y tiempos de reposo para la maceración de la malta.....	31
Figura 12. Formato para prueba de ordenamiento en la cerveza elaborada con distintos porcentajes de almidón de yuca.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición típica del mosto lupulado.....	8
Tabla 2. Estilos de cerveza clasificados por su tipo de fermentación.	16
Tabla 3. Características de algunos almidones usados en la industria alimentaria.	22
Tabla 4. Resultados de pH y °Color en las diferentes formulaciones de cerveza .	40
Tabla 5. Volumen de CO2 en las diferentes formulaciones de cerveza.....	42
Tabla 6. Porcentaje de azúcares reductores directos presentes en las diferentes formulaciones de cerveza.....	43
Tabla 7. Unidades de amargor o IBU en las diferentes formulaciones de cerveza.	44
Tabla 8. Tiempo de retención de espuma en las diferentes formulaciones de cerveza.....	45
Tabla 9. Contenido alcohólico en las diferentes formulaciones de cerveza.....	47
Tabla 10. Contenido de extracto aparente en las diferentes formulaciones cerveza.	48
Tabla 11. Porcentaje de extracto primitivo o extracto de mosto original en las diferentes formulaciones de cerveza.....	50
Tabla 12. Tabulación de los datos obtenidos en la prueba de ordenamiento para la evaluación sensorial de los distintos porcentajes de cerveza con almidón de yuca.	52

RESUMEN

En este trabajo de investigación se ha llevado a cabo el estudio del efecto de la sustitución de malta de cebada por almidón nativo de yuca como una fuente de azúcares fermentables adicionales, para la obtención de una cerveza tipo “Ale” y la generación de un nuevo estilo dentro de este tipo de cervezas, así como un adjunto macerado no convencional que proporcione estabilidad, brillantez y un bajo costo en la utilización para la elaboración de cervezas. Para ello se realizaron 3 diferentes formulaciones de cervezas en las cuales se sustituyó parcialmente la malta de cebada por almidón nativo de yuca en 10, 15, y 20 %. Por otro lado, fueron caracterizadas fisicoquímicamente (pH, color, volúmenes de CO₂, azúcares reductores, unidades de amargor, tiempo de retención de espuma, contenido alcohólico, extracto aparente y extracto de mosto original) las 3 diferentes formulaciones con el objetivo de asegurar que se cumplan los parámetros de calidad que conlleva una cerveza tipo “Ale” así como una evaluación sensorial para determinar el tratamiento más aceptable.

I.-INTRODUCCIÓN

La cerveza es la bebida alcohólica fermentada más consumida en el mundo, atendiendo una demanda de 184.834 millones de litros de cerveza en el 2016 según el portal en línea de la BBC. En el 2014, México produjo 8.95 millones de litros de cerveza y se exportaron 1.7 millones de litros. Los principales destinos de exportación son Estados Unidos, Chile, Australia, Canadá, y Reino Unido. En el 2015, México se encontró posicionado como el mayor exportador de cerveza a nivel mundial, como el 7mo país en producción de cerveza y el 15avo país en importar cervezas de otros países. No obstante, en América Latina México se posiciona como el 3er país en consumo de cerveza, con un consumo de 60 litros de cerveza *per cápita* por año (Secretaría de Economía, 2015). Sin embargo, en el país existen 55 unidades económicas dedicadas a la elaboración de cerveza, generando 1.2 % de la producción bruta total manufacturera. Las principales entidades productoras de cerveza en México se muestran en la Figura 1.

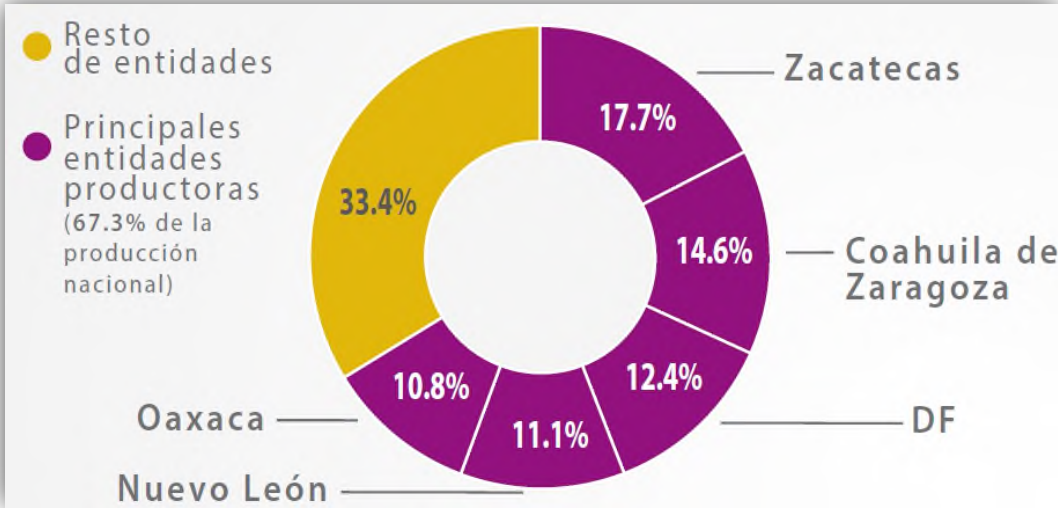


Figura 1. Principales entidades productoras de cerveza en México. (Fuente: INEGI, Censos Económicos 2014).

La Subsecretaría de Industria y Comercio de la Secretaría de Economía, afirman que la industria cervecera generó 55 mil empleos directos y 2.5 millones indirectos

en el 2015, además de apoyar al sector primario, en la producción de cebada, arroz y de maíz.

La industria cervecera requiere de arroz y maíz (grits), para la elaboración de cerveza. Son denominados como adjuntos y son utilizados como azúcares fermentables adicionales en el proceso de elaboración de cerveza. Con la finalidad de reducir costos en la producción al no utilizar 100 % malta de cebada y producir cervezas con mayor claridad, de mayor brillantez y estabilidad. La generación de cervezas a base 100 % de malta de cebada aumentan los costos de producción, ya que la malta es de mayor valor monetario en comparación con el arroz y maíz. Sin embargo, el maíz y el arroz son cereales que en ciertos años llegan a presentar escasez dentro del país. En el año 2007, México participó con un 3 % de la producción mundial de maíz, sin participación en la exportación y con una importación mundial del 7 %. Esto se debe en principio a que el maíz constituye la principal fuente de energía en la dieta alimenticia de los mexicanos. En el 2008 el consumo *per cápita* de maíz fue de 291 kg/año y el sector industrial consumió el 40% de toda la demanda en el país. (FAOSTAT., 2009; SIAP., 2009; SAGARPA., 2008).

La producción de arroz en México es mínima, en el año 2007 en comparación con otros países México presentó el 0.05 % de la producción mundial de arroz, con un consumo del 0.2 % del total mundial. A nivel *per cápita* el consumo de arroz fue de 6.8 kg/año (FAOSTAT, 2009). En el 2009, la producción cosechada fue de 223 mil toneladas; se importaron 527.3 miles de toneladas, que representaron el 58 % del consumo disponible y se exportaron solo 2 mil toneladas que significaron apenas el 0.9 % de la producción comercializable (SIAP, 2009).

Por consiguiente, es necesario innovar y desarrollar cervezas con fuentes no convencionales de almidones en combinación con la malta de cebada; el cuál es el objetivo principal de esta investigación, elaborar una cerveza con almidón de yuca como adjunto no convencional con aceptación fisicoquímica y sensorial, con el propósito de reducir la utilización de arroz y maíz en el sector cervecero. Aunado a una mayor demanda de yuca en el sector primario. Además de generar una nueva forma de proceso para la yuca, diversificando así su demanda.

II.-ANTECEDENTES

II.1. Cerveza.

La cerveza es una de las bebidas alcohólicas fermentadas más antigua del mundo, de sabor amargo y elaborada con granos de cebada previamente sometidos al proceso de malteo. La fecha de su aparición tiene discrepancias entre autores, algunos creen que su aparición surgió en el milenio IV a. C.

No obstante, hay otros que creen que el descubrimiento de la cerveza vino acompañado de la producción de pan. La mención más antigua de la cerveza se halla en una escritura cuneiforme del año 2800 a.C. en la Mesopotamia (Kunze, 2006). En algunos países como Alemania empezaron a incorporar algunos ingredientes que actualmente son característicos de la cerveza. En la siguiente figura se pueden observar cervezas de diferentes tonalidades. Esto es debido a la especialidad de las maltas usadas para su elaboración.



Figura 2. Cervezas de diferentes estilos. (**Fuente:** <http://www.mondore.es/blog/tag/que-es-la-malta/>).

II.1.1. Ingredientes de la cerveza

Actualmente la fabricación de cerveza requiere de cuatro materias primas esenciales, agua, malta de cebada, lúpulo y levadura. Como en todos los procesos, la materia prima definirá la calidad del producto final, en este caso la calidad de la cerveza.

a) Agua

El agua es cuantitativamente el ingrediente principal en la elaboración de cerveza, constituyendo del 90-95 % de ésta. De acuerdo a la NOM-142-SSA1-1995, el agua debe ser potable y podrá utilizarse agua destilada o desmineralizada para llevar a cabo dicho proceso. No obstante, el agua para la elaboración de cerveza debe cumplir con una serie de requisitos de tecnología cervecera (iones químicamente inactivos, pH, dureza), las cuales pueden tener una influencia positiva sobre la fabricación de cerveza. (Kunze, 2006).

b) Malta de cebada

La cebada (*Hordeum vulgare*) es un cereal, familia de las Gramíneas, con una apariencia similar al trigo. Es utilizada para la elaboración de cerveza, con la finalidad de aportar el almidón necesario, que posteriormente será transformado a azúcares fermentables para la producción de alcohol. La malta de cebada se obtiene por el malteo del grano de cebada. El proceso consiste en una germinación controlada e interrumpida por medio de un secado. En la Figura 3 se puede observar granos de cebada en el proceso de transformación a malta. Durante este proceso se obtienen las enzimas necesarias para hidrolizar el almidón contenido en el grano de malta, a partir de una capa rica en células proteicas denominada capa de aleurona.

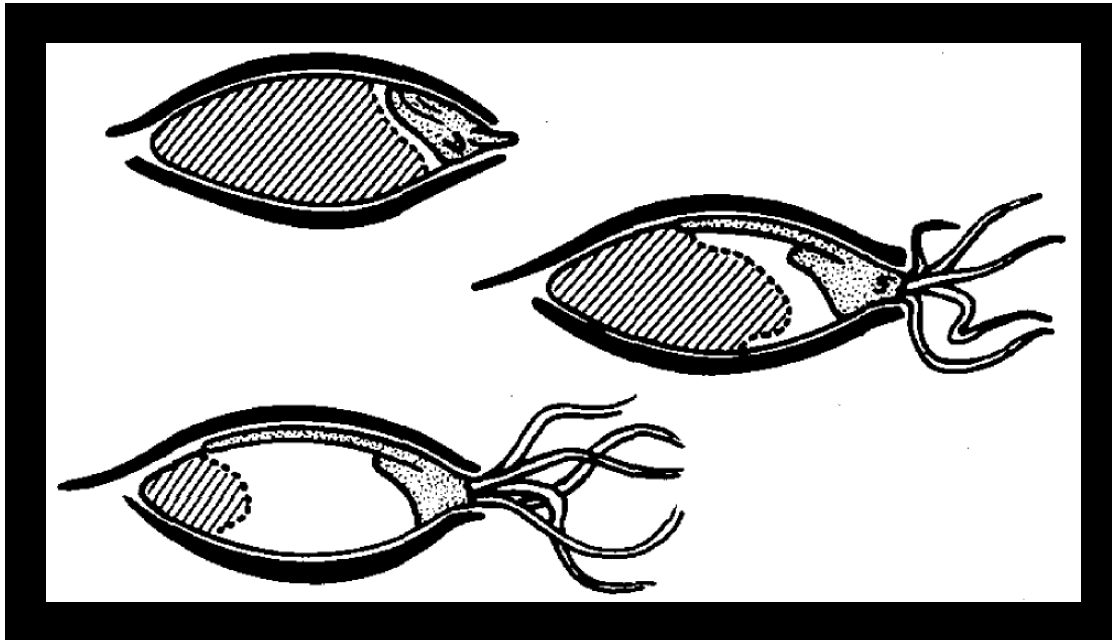


Figura 3. Etapas del malteado. (Fuente: Briggs, 1981).

c) Lúpulo

El lúpulo (*Humulus lupulus*) es una planta dioica de la familia de cannabáceas del género *Hummulus*. Esta planta también es denominada como trepadora y perenne, uno de los factores para su cultivo es el clima del medio ambiente. La planta prefiere crecer en lugares frescos y húmedos. En la fabricación de cerveza se utilizan únicamente las inflorescencias de las plantas femeninas como se puede observar en la Figura 4. Son las que contienen las resinas amargas y los aceites etéreos que le suministran a la cerveza los componentes amargantes y aromáticos. Además de beneficiar la estabilidad de la espuma y la estabilidad biológica de la cerveza (Kunze, 2006).



Figura 4. Inflorescencias de plantas femeninas de lúpulo. (Fuente: Briggs, 1999).

d) Levadura

Las levaduras son hongos unicelulares, la mayoría perteneciente a los Ascomicetos. Normalmente son ovales, esféricas o casi cilíndricas. Las cepas de levadura cervecera son de dos tipos principales, de fermentación baja (*Saccharomyces uvarum*) o fermentación alta (*Saccharomyces cerevisiae*). (Madigan *et al.*, 2004)

II.1.2. El papel de *Saccharomyces*

Como se mencionó anteriormente, la levadura es el microorganismo encargado de convertir los azúcares fermentables (glucosa, fructosa, sacarosa, maltosa y maltotriosa) en etanol y CO₂ (los principales productos en el proceso de fermentación), pertenece al reino de los hongos, del género *Saccharomyces* (Varnan y Sutherland, 1997). El proceso de fermentación en la elaboración de cerveza, utiliza 2 tipos de levaduras: *Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces uvarum*. Las levaduras de fermentación alta y baja pueden ser diferenciadas por su

comportamiento de gemación. Las levaduras de fermentación baja se encuentran casi exclusivamente como células individuales a diferencia de las levaduras de fermentación alta ya que las células madre e hija permanecen unidas, por lo cual se forman cadenas celulares ramificadas como puede notarse en la Figura 5 (Kunze, 2006).

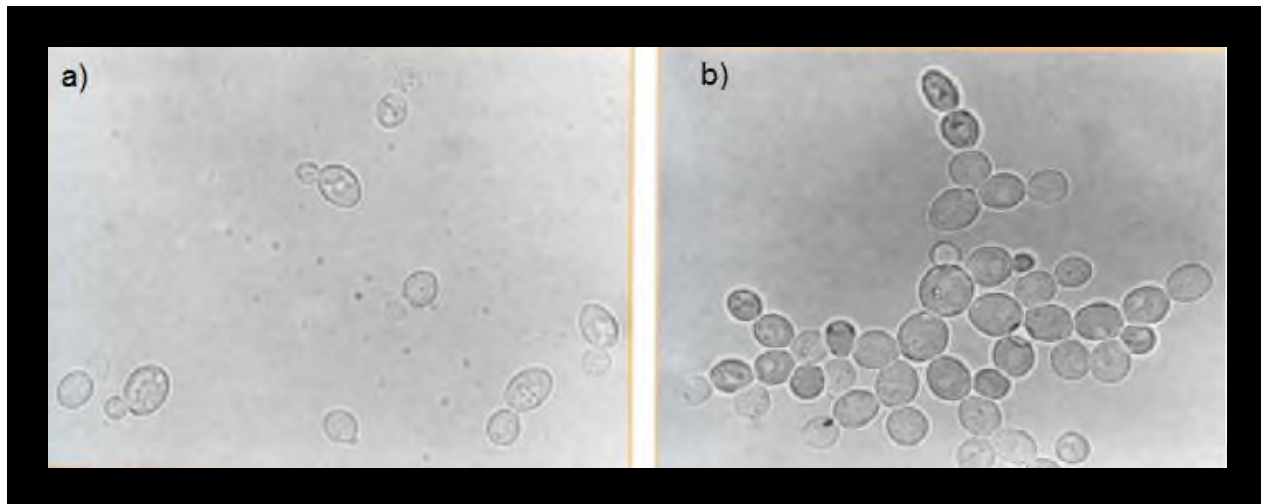


Figura 5. a) Levadura de fermentación baja para cerveza y **b)** Levadura de fermentación alta para cerveza. (Fuente: Kunze, 2006).

II.1.3. Fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica es una biorreacción que permite degradar azúcares en alcohol y dióxido de carbono. Las principales responsables de esta transformación son las levaduras, siendo *Saccharomyces cerevisiae*, la especie de levadura usada con mayor frecuencia en la industria. La conversión de una molécula de glucosa a etanol y dióxido de carbono, se representa mediante la siguiente ecuación:



El rendimiento teórico estequiométrico para la transformación de glucosa en etanol de 0.511 g de etanol y 0.489 g de CO_2 por 1 g de glucosa. Este valor fue cuantificado por Gay Lussac (Vázquez y Dacosta, 2007). En la fermentación durante la elaboración de cerveza, los azúcares fermentables son obtenidos en la maceración

durante el proceso de sacarificación. Los principales azúcares presentes en el mosto lupulado son la maltosa y la maltotriosa, en menores proporciones se encuentran sacarosa y fructosa (López *et al.*, 2002). La composición típica del mosto lupulado se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición típica del mosto lupulado.

Azúcares presentes en el mosto lupulado.	% de sólidos totales
Glucosa	4-8 %
Maltosa	43-46 %
Maltotriosa	10-13 %
Otros oligosacáridos y dextrinas	22-25 %
Sacarosa	1-3 %
Fructosa	1-2 %
Aminoácidos libres	1-1.5 %
Péptidos y proteínas	1.5-3 %

Fuente: López *et al.*, 2002.

II.2. Proceso de obtención

Para la obtención de la cerveza y generación de azúcares fermentables que posteriormente se convertirán en alcohol, tiene que llevarse a cabo un proceso, el cual involucra nueve subprocesos divididos básicamente en 2 etapas. En la primera etapa se lleva a cabo la obtención del mosto lupulado, abarcando 6 de los subprocesos. La segunda etapa que corresponde a la obtención de la cerveza, consta de los 3 últimos subprocesos.

II.2.1. Molienda de la malta

Con el objetivo de posibilitar a las enzimas que se encuentran presentes en la malta a que actúen sobre los componentes de esta última y para poder ser degradados durante la maceración, la malta debe ser triturada, este proceso lleva el nombre de molturación (Kunze, 2006). La molturación de la malta consiste en rasgar el grano de manera longitudinal para facilitar la separación de la cascarilla del endospermo, obsérvese la Figura 6. Este primer subproceso en la producción de mosto lupulado debe ser considerado uno de las más importantes, ya que si la molturación fuese demasiado fina acarrearía problemas al subproceso de filtración, debido a que la cascarilla actúa como lecho filtrante en dicho subproceso. Además de posibilitar el arrastre de cascarillas a la olla de cocción, aportando amargores indeseables al producto final. Si la molturación es demasiado gruesa existen pérdidas económicas debido al bajo % de extracto obtenido de la malta.



Figura 6. Malta molturada.

II.2.2. Maceración

La maceración es el subproceso más importante en la obtención del mosto. En la maceración, la molienda (granos de malta molturados) y el agua son mezcladas entre sí (macerados) como puede observarse en la Figura 7. Entre los componentes de la molienda solo una parte es soluble, es por ello necesario que las sustancias insolubles de la molienda sean convertidas en sustancias solubles durante la maceración (Kunze, 2006). Según La Asociación de Maestros Cerveceros de las Américas (1977), los objetivos de la maceración son los siguientes: disolver sustancias de los ingredientes que sean inmediatamente solubles, esta fracción constituye apenas del 10 al 15 % del peso total de los ingredientes; solubilizar a través de acción enzimática sustancias que son insolubles en su estado natural; cambiar la estructura química a través de la acción enzimática simultánea de algunas sustancias constituyentes de una manera planificada y predecible.

El agua dentro de la maceración no debe ser rica en bicarbonatos, ya que esto aumentará el pH y consecuentemente, disminuirá la actividad de las enzimas, y la cerveza será más dulce al contener más dextrinas (Hernández y Sastre, 1999).



Figura 7. Adición de malta molturada al agua. (Fuente: <http://artesanalbier.blogspot.mx/2011/06/proceso-de-macerado.html>)

II.2.3. Filtración del mosto

El siguiente subproceso dentro de la etapa de obtención de mosto lupulado, busca como objetivo principal separar la solución acuosa de los extractos (mosto) de las partes no disueltas (cascarillas). Estas partes no disueltas suelen conocerse como heces o afrecho, el subproceso ocurre en dos fases, descarga del primer mosto y el lavado del afrecho para la extracción del extracto soluble (Kunze, 2006). En la primera etapa, la solución acuosa se hace pasar a través del filtro hasta la olla de cocción, separado el primer mosto se hace pasar agua caliente en un intervalo de 75-78 °C a través del lecho filtrante, como puede observarse en la Figura 8. El agua ocupada es conocida como agua de riego y es la que llevará a cabo la extracción del extracto soluble final. La cantidad de agua de riego y de lavados del afrecho dependerá de la concentración del primer mosto ya que con cada lavado se diluye más el mosto y esto provocaría más tiempo de cocción en la olla de cocimiento.



Figura 8. Agua de riego a través del lecho filtrante.

II.2.4. Cocción del mosto

La cocción del mosto se lleva a cabo en una paila u olla de material de cobre, o acero inoxidable con chimenea. Este subproceso dura aproximadamente de 40-60 min, dependiendo de la concentración de sólidos solubles que se desee tener en el mosto. El lúpulo debe ser agregado en este subproceso, la cantidad de lúpulo varía dependiendo el tipo de cerveza entre 0.14 y 0.42 kg por hectolitro (López *et al.*, 2002). Los objetivos que se persiguen en la ebullición del mosto son: obtener estabilidad (biológica, bioquímica, coloidal y de sabor), desarrollar el sabor (eliminación de sustancias volátiles, aditivos en la olla, ebullición del lúpulo, isomerización del lúpulo), alcanzar la concentración, y eliminar el bagazo de lúpulo. (Asociación de Maestros Cerveceros de las Américas, 1977)

II.2.5. Sedimentación de las proteínas coaguladas

Finalizado el proceso de cocción del mosto se realiza una recirculación de mosto caliente, de manera que el mosto entre a la olla tangencialmente por bombeo, produciendo un flujo rotatorio en el recipiente. Esta acción es denominada “whirlpool”. Posteriormente a la recirculación del mosto caliente se hace una pausa aproximadamente de 10-20 min, con la finalidad de que los compuestos de mayor densidad precipiten formando un sedimento en forma de montaña en el fondo y en el centro de la olla como puede observarse en la Figura 9. Este precipitado de proteínas, complejos proteínas-taninos y desechos, está compuesto por partículas grandes de 30-80 μm y se denomina “trub” (Kunze, 2006).



Figura 9. Trub caliente en el fondo de la olla de recirculación en la obtención de mosto lupulado para cerveza tipo pale-ale.

II.2.6. Enfriamiento de mosto

El último subproceso de la primera etapa (obtención de mosto lupulado) es el enfriamiento del mosto a temperaturas de 8-12 °C para la levadura lager (*Saccharomyces uvarum*) o 18-22 °C para la levadura ale (*Saccharomyces cerevisiae*) dependiendo del tipo de fermentación que se vaya a realizar, ya que si la levadura fuera inoculada a altas temperaturas se lisarían en su mayoría y por ende no podría llevarse a cabo el proceso fermentativo, estas temperaturas óptimas son específicas para los dos tipos de levadura cervecera. El enfriamiento del mosto se puede lograr con agua fría, agentes refrigerantes, o refrigeración en enfriadores (abiertos o cerrados). Durante el enfriamiento del mosto ocurren una serie de procesos que tienen una influencia decisiva sobre la velocidad de la fermentación y maduración (reposo) subsiguiente a este subproceso (Kunze, 2006).

II.2.7. Fermentación

La fermentación es un subproceso dentro de la última etapa de elaboración de cerveza. Este es el subproceso de mayor importancia, ya que aquí se llevará a cabo

la reacción de conversión de los azúcares fermentables a etanol y dióxido de carbono a través del metabolismo anaerobio de la levadura. Las reacciones en la fermentación se pueden dividir en reacciones de fermentación principal y reacciones de maduración que se abordarán en el siguiente punto. La levadura absorbe los monosacáridos y disacáridos contenidos en el mosto, así como el trisacárido maltotriosa y los fermenta en ese orden. Se puede contar con que se fermenta aproximadamente el 98 % de los azúcares y se consume por respiración sólo el 2 % (Kunze, 2006). La siembra para una fermentación con *Saccharomyces uvarum* (fermentación baja) normalmente se produce inmediatamente después del enfriamiento del mosto (en un rango de temperatura de entre 8-11 °C) ya que el mosto puede ser fácilmente contaminado microbiológicamente. A diferencia de una fermentación realizada con *Saccharomyces cerevisiae* (fermentación alta) la siembra se hace a temperaturas altas en comparación con la siembra para una fermentación baja. Estas temperaturas oscilan en un rango de 15-18 °C o aún un poco más alto (Asociación de Maestros Cerveceros de las Américas, 1977).

II.2.8. Reposo

El reposo es el subproceso consecutivo a la fermentación, terminada la fermentación se obtiene cerveza verde o en estado inmaduro. Para la obtención de cerveza madura se realiza un madurado o reposo donde se llevan a cabo reacciones químicas y bioquímicas, donde tienen lugar tres reacciones de gran influencia sobre la maduración del sabor de la cerveza: La reducción en la concentración de ácido sulfhídrico, de acetaldehído y de diacetilo, por lo general las reacciones dependen de la temperatura y muchas requieren la presencia de la levadura como un catalizador (Asociación de Maestros Cerveceros de las Américas, 1977).

II.2.9. Envasado

El envasado es el último subproceso en el proceso de elaboración de cerveza. Este subproceso busca como objetivo proteger la calidad, microbiológica y sensorial de la cerveza. El envasado puede realizarse en botellas de vidrio, en latas de aluminio, botellas de PET, y en barriles de acero o aluminio. Durante el envasado deben conservarse todos los parámetros de calidad y se debe evitar cualquier ingreso de aire a la cerveza (Kunze, 2006).

II.3. Evaluación química de la cerveza

La cerveza terminada y envasada debe cumplir con una serie de parámetros de calidad que se deben controlar permanentemente a través de una evaluación química. Algunos de los componentes de la cerveza se derivan de las materias primas y sobreviven el proceso de elaboración de la cerveza sin cambios. Otros son el resultado de la transformación química y bioquímica de las materias primas durante el malteado, trituración, ebullición, fermentación y acondicionamiento. (Briggs *et al.*, 1999). Según la AOAC, 2005, los parámetros que se deben analizar son los siguientes: gravedad específica, viscosidad, color, glicerol, pH, azúcares reductores, diacetilo, almidón, proteína, nitrógeno, dióxido de carbono, grados de amargor, minerales residuales, concentración de etanol y alcoholes superiores.

II.4. Diferentes estilos de cerveza

Con base a la determinación de los análisis químicos es posible clasificar una cerveza, o bien corroborar que la cerveza obtenida esté dentro de los parámetros que se establecieron en el diseño de un estilo. Ya que es una bebida diversa en sabores, colores, cuerpo, grado alcohólico, amargor y fermentación. La cerveza se puede clasificar en dos tipos, lager y ale. Esta clasificación viene dada por el tipo de

levadura con el cual fue fermentada la cerveza. Sin embargo, dentro de esta clasificación se desprenden diferentes estilos de cerveza.

Las cervezas fermentadas por *Saccharomyces cerevisiae* de color pálido se conocen a menudo como "Pale ales" o, en el caso de las cervezas fermentadas por, *Saccharomyces uvarum* como "Pilsner lagers". Las "Mild ales", tienen un contenido menor de sustancias amargas que las "Pale ales", suelen ser más dulces y de un color más oscuro. También se producen cervezas oscuras fermentadas con *Saccharomyces cerevisiae*, las cuales se denominan "stouts" y "porters" (Briggs *et al.*, 1981). Como consecuencia de las variaciones en las técnicas de elaboración y en utilización y preparación de materias primas se pueden encontrar diferentes estilos de cerveza. A continuación, en la Tabla 2 se muestran algunos estilos de cerveza clasificados con su respectivo tipo de fermentación y una ligera descripción de la cerveza (Hernández *et al.*, 1999; López *et al.*, 2002).

Tabla 2. Estilos de cerveza clasificados por su tipo de fermentación

<p>Ale (Fermentadas con levaduras altas)</p>	<p>Pale ale. Es clara, con un alto contenido de lúpulo, seca y muy amarga.</p> <p>Brown ale. Es oscura, contiene poco lúpulo y es dulce.</p> <p>Bitter. Es clara con un alto contenido de lúpulo y con mucho cuerpo.</p> <p>Mild ale. Es semi-oscura, de sabor dulce, poco denso y amargo.</p> <p>Stout o Porter. Es muy oscura, con mucho cuerpo, alto contenido de lúpulo, amarga, dulce o seca.</p>
<p>Lager (Fermentadas con levaduras bajas)</p>	<p>Pilsener, Hell o Pale. Es clara, con alto contenido de lúpulo, seca y con poco cuerpo.</p> <p>Dortmunder. Tiene características parecidas a la Pilsner, pero con un menor contenido de lúpulo y sabor más suave.</p> <p>Munich, Donkel o Dark. Es oscura, de sabor intenso, aromática, con bajo contenido de lúpulo, amargor ligero, dulce y con mucho cuerpo.</p>

Fuente: López *et al.*, 2002

II.5. Adjuntos convencionales

Los diferentes estilos de cervezas utilizan diversos tipos de malta para acentuar características, así mismo se utilizan diferentes tipos de lúpulos, diferente cepa de levadura para su fermentación y en algunos casos se utilizan condimentos. Y se denominan adjuntos cerveceros, estos pueden ser de cocción en olla o reposo en la misma, aportando azúcares fermentables adicionales o bien aromas o sabores, por otro lado, los adjuntos macerables son fuente de azúcares fermentables adicionales y se utilizan para la elaboración de cerveza en algunos países, por lo general los tipos de cereales más utilizados son los producidos en mayor cantidad. El arroz y el maíz son los más utilizados por la industria cervecera. Estos azúcares fermentables adicionales o adjuntos, se denominan así ya que la principal fuente de azúcares fermentables es aportada por la malta de cebada. El potencial enzimático de la malta es suficiente para degradar este almidón adicional, en consecuencia, se puede sustituir un porcentaje de malta por un adjunto, este porcentaje por lo general es de 15-20 %. Su utilización no está permitida para cervezas que son fabricadas bajo la ley de pureza “Reinheitsbot” (Kunze, 2006).

II.5.1. Cereales

La malta de cebada es el principal ingrediente de la cerveza, y en la industria cervecera también lo es el maíz y arroz. Estos cereales son plantas monocotiledóneas pertenecientes a la familia de las gramíneas. Son cultivados generalmente por su grano, ya que contribuyen con el aporte energético y numerosos nutrientes para el ser humano.

El fruto de los cereales es denominado botánicamente cariósido y consta de tres partes anatómicas fundamentales: pericarpio, endospermo, y germen. El pericarpio es la envoltura real del grano y contiene la mayor parte de la fracción fibrosa. El endospermo es lo más abundante y voluminoso del grano pudiendo llegar hasta el 75 % del peso total y está constituido por gránulos de almidón embebidos en una

matriz proteica. El germen encierra el escutelum y al embrión y contiene principalmente aceite y proteína (Serna, 1996).

II.5.1.1. Arroz

El arroz es un cereal de origen oriental, que contiene los siguientes porcentajes dentro de la cariósida. El embrión representa el 2-3 %, el pericarpio representa el 1-2 %, las cubiertas del grano y la capa de aleurona representan el 4-6 % y el endospermo representa el 89-93 %. La parte más abundante en el grano de arroz es el endospermo, donde se encuentran los gránulos de almidón, este tipo de almidón tiene propiedades únicas, como el tamaño, alta temperatura de gelificación y su pico de viscosidad. En Estados Unidos y América Latina se utiliza el maíz, el arroz y el jarabe de maíz como materia prima complementarias que se añaden a la cebada, para aumentar el contenido en alcohol y reducir la cantidad de cebada en la elaboración de cerveza. Esta materia prima complementaria es denominada como adjunto (Dendy y Dobraszczyk, 2001).

II.5.1.2. Maíz

El maíz es un cereal, de origen desconocido, pero cultivado en América central con mayor frecuencia, existen variedades que no alcanzan los 2 m de altura, sin embargo, existen variedades que llegan a alcanzar los 6 m de altura. La mazorca madura de maíz contiene aproximadamente 800 semillas y tiene un peso alrededor de 350 g. Los granos están unidos a la mazorca mediante una estructura que se denomina pedicelo. El grano incluye tanto pericarpio como testa, que puede representar alrededor de 5-6 % de la semilla, el endospermo representa alrededor de 82 %, los gránulos de almidón contenidos en el endospermo se encuentran incluidos en proteínas. La unión de proteína-almidón es mucho más en el maíz que en otros cereales. En Estados Unidos y América Latina se utiliza el maíz, el arroz y el jarabe de maíz como adjunto en la elaboración de cerveza. El maíz que se destina

para la elaboración de cerveza se fragmenta, y se mezcla con agua en una proporción de 1 parte de grano con 30 partes de agua (Dendy y Dobraszcyk, 2001).

II.6. Adjuntos no convencionales

Los adjuntos cerveceros son fuentes de azúcares fermentables adicionales como se mencionó anteriormente y se utilizan para la elaboración de cerveza en algunos países. Por lo general se ocupan cereales como adjuntos, por ejemplo, el arroz o maíz, siendo estos los más convencionales en la industria cervecera. Sin embargo, existen fuentes de almidón poco convencionales que pueden ser ocupados para la generación de azúcares fermentables adicionales, tales como los tubérculos. Estos contienen grandes cantidades de almidón, de donde destaca la papa, yuca y la malanga, estos se clasifican como adjuntos macerables, ya que tienen que pasar por el proceso de gelatinización y degradación del almidón por medio de enzimas que se le añaden.

En el 2010 Carvajal e Insuasti realizaron un trabajo de tesis. Ellos utilizaron diferentes tratamientos para la combinación de cerveza de cebada y cerveza de yuca. Ellos usaron el almidón de yuca como una fuente de azúcares fermentables con un tratamiento previo, para obtener una bebida fermentada a base del almidón de yuca, para su posterior combinación con la cerveza de malta de cebada. Obteniendo así una cerveza a base de malta de cebada y almidón de yuca. Encontraron factible el tratamiento de cerveza de cebada en un 85 % y de la bebida fermentada a base de almidón de yuca en un 15 %.

II.6.1. Tubérculos

Los tubérculos son tallos subterráneos y engrosados, donde se almacenan nutrientes para la planta. Dentro de estos nutrientes el más abundante es el almidón. Los tubérculos pertenecen a la clase de alimentos que básicamente proporcionan energía a la dieta humana en forma de carbohidratos. Comprenden todas las

plantas que al crecer almacenan material comestible en la raíz, corma o tubérculo subterráneos. Estos han sido considerados alimentos destinados principalmente a los carentes, ocupando un lugar secundario en el comercio internacional (FAO, 1991). Dentro de estos tubérculos se encuentra la yuca, la cual contiene grandes cantidades de almidón, el cual puede ser ocupado como un adjunto cervecero, con un tratamiento previo.

II.6.1.1. Yuca (*Manihot esculenta*)

La yuca es un tubérculo, el cuarto proveedor de energía dietética en los países tropicales, solo después del arroz, el azúcar y el maíz. Es una planta tropical de tallos subterráneos y engrosados. Originaria de la Amazonia Americana, perteneciente a la familia *Euphorbiaceae*. El cultivo tolera la baja fertilidad del suelo, la sequía y la mayoría de las plagas y enfermedades. Es un cultivo de amplia adaptación ya que se siembra desde el nivel del mar hasta los 1800 msnm, a temperaturas comprendidas entre 20 y 30 °C con una óptima de 24 °C, una humedad relativa entre 50 y 90 % con una óptima de 72 % y una precipitación anual entre 600 y 3000 mm con una óptima de 1500 mm. Estos atributos han convertido la yuca en un cultivo de importancia (FAO, 2007; Mpoko, 1999). El cultivo de yuca tiene gran potencial agrícola y económico para la alimentación humana, ya sea en forma directa, o en la elaboración de alimentos balanceados para animales en sustitución de los granos. Así como en el aspecto industrial por los múltiples derivados que tiene. En México la siembra se da en siete estados de la republica Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán, Oaxaca, Michoacán y Jalisco. principalmente para autoconsumo en huertos familiares o en áreas cercanas a los poblados rurales. Tabasco es el estado sobresaliente, donde se encuentra producto fresco todo el año resultado de sembrar en los ciclos primavera-verano y otoño-invierno (Pérez Valenzuela, 2015).

II.7. Carbohidratos

Los cereales, así como los tubérculos son una fuente abundante de carbohidratos. Estos son macromoléculas orgánicas, de los más abundantes en la naturaleza y de los más consumidos por el ser humano. Son representados por la fórmula general $C_x(H_2O)_n$ (Badui-Dergal, 2006). Los carbohidratos más sencillos son moléculas monoméricas, denominados monosacáridos. La unión de los monosacáridos forma otros hidratos de carbono de importancia, por ejemplo, la unión de dos moléculas de glucosa nos genera un disacárido llamado maltosa. Por otra parte, un oligosacárido está conformado por un número reducido de unidades monoméricas, a diferencia de los polisacáridos que están formados por cadenas largas de monosacáridos, por ejemplo, la amilosa del almidón (Mathews *et al.*, 2002).

II.7.1. Almidón

El almidón es un carbohidrato, clasificado dentro de los polisacáridos. El segundo más abundante en la naturaleza, solo después de la celulosa. Este hidrato de carbono es de los principales en la dieta humana, ya que se encuentra en los cereales, tubérculos, y en algunas frutas como el plátano, por ejemplo. El almidón es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina. La amilosa conformada por cadenas lineales con 200-2500 unidades de glucosa unidas mediante enlaces α -(1,4). Por otra parte, la amilopectina se diferencia de la amilosa por sus ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol, dichas ramificaciones están unidas al tronco central por enlaces α -(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa. Por lo general los almidones contienen aproximadamente 17-27 % de amilosa y el resto de amilopectina. (Badui-Dergal, 2006). En los cereales, el almidón se encuentra en forma de gránulos, dentro del grano de cereal, ubicado en el endospermo. Los gránulos de almidón son de diferentes tamaños en todos los cereales, siendo la avena y el arroz los más pequeños (Dendy y Dobraszczyk, 2001). A continuación, se muestra en la Tabla 3 algunas características de algunos almidones usados en la industria alimentaria.

Tabla 3. Características de algunos almidones usados en la industria alimentaria.

Tipo	Amilopectina (%)	Amilosa (%)	Temperatura de gelatinización (°C)	Tamaño del gránulo (µm)
Maíz	69-74	26-31	62-72	5-25
Maíz rico en amilosa	20-45	55-80	67-80	5-25
Papa	73-77	18-27	58-67	5-100
Arroz	83	17	62-78	2-5
Tapioca	82	18	51-65	5-35
Maíz céreo	99-100	0-1	63-72	5-25
Sorgo céreo	99-100	0-1	67-74	5-25
Trigo	76	24	58-64	11-41

Fuente: Badui-Dergal, 2006.

II.7.1.1. Gelatinización del almidón

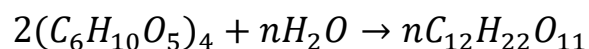
Los gránulos de almidón tienen una estructura altamente organizada compuesta por una laminilla intermedia de proteínas que regulan todo tipo de intercambio de materia entre el interior y el exterior. Esta laminilla intermedia se encuentra rodeada por ambos lados por una capa de β -glucanos. Esta a su vez, está rodeada por una capa muy porosa de pentosanos, que contienen diferentes sustancias, tales como ácidos orgánicos, ácido acético o ácido ferulico. Aunado a su gran estabilidad por las múltiples interacciones que existen con sus dos polisacáridos constituyentes; consecuentemente el almidón es insoluble en agua fría, sin embargo, cuando se calientan empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas, que son las menos organizadas y las más accesibles. Mediante el aumento de temperatura el gránulo retiene más agua y comienza a hincharse. Cuando la parte amorfa se ha hidratado por completo la parte cristalina

inicia el proceso de hidratación por lo cual requerirá de mayor energía. Al alcanzar su máximo volumen el gránulo de almidón pierde su patrón de difracción de rayos X como la propiedad de birrefringencia, al suministra más calor el gránulo de almidón se ve incapacitado para retener más líquido y por consecuencia se lixivia el gránulo de almidón liberando aproximadamente 30 % de amilosa al medio. En este punto hay un aumento de viscosidad en el medio. Este proceso se denomina gelatinización. (Badui-Dergal, 2006; Kunze, 2006)

II.7.1.2. Hidrólisis del almidón

El almidón es un polisacárido que puede ser hidrolizado para obtener derivados como la glucosa y dextrinas, ocupados ampliamente en la industria alimentaria. La digestión del almidón se puede dar en la presencia de catalizadores como ácidos o enzimas amilolíticas. La destrucción controlada de las cadenas poliméricas a través de soluciones básicas, ácidas o catalizadas por enzimas, da lugar a la formación de dextrinas, moléculas de maltosa y glucosa (Badui-Dergal, 2006; Peña-Piza, 2009).

La hidrólisis de almidón por medio de enzimas amilolíticas requiere de 3 etapas, etapa de gelatinización, etapa de licuefacción o dextrinización y la etapa de sacarificación. La hidrólisis del almidón se puede representar por la siguiente ecuación. (Reyna *et al.*, 2004; Cruz-Ruiz, 2012)



II.7.1.3. Actividad de las enzimas

Las amilasas son enzimas que pueden hidrolizar enlaces O- o S-glucosídicos. Tienen una clasificación de endo y exo enzimas, esto de acuerdo al sitio de hidrólisis que efectúen sobre la molécula de almidón, todas las amilasas tienen en común la hidrólisis de enlaces glucosídicos α -(1,4) o α -(1,6) (Montor-Antonio, 2013). La α -

amilasa es una enzima extracelular denominadas endoenzima o endohidrolasa, actúa de manera aleatoria sobre los enlaces internos α -(1,4) de la amilosa y de la amilopectina, no obstante, existe un menor porcentaje de hidrólisis en los enlaces glucosídicos α -(1,6). Dicho de otra manera, actúa en la hidrólisis del almidón, con lo que se producen dextrinas de 10 a 20 unidades de glucosa; también puede ser denominada enzima licuante debido a que su presencia provoca la rápida reducción de la viscosidad de las soluciones de almidón. (Badui-Dergal, 2006; Vihinen y Mantsala, 1989).

III.-HIPÓTESIS

El uso de almidón nativo de yuca como adjunto cervecero no convencional en proporción con malta de cebada (Principal fuente de almidón en la generación de azúcares fermentables para la elaboración de cerveza) permitirá obtener un nuevo estilo de cerveza distintos a los existentes en el mercado nacional, que reúna los parámetros fisicoquímicos y del mercado a un precio competitivo, así como una fuente no convencional de almidón para la industria cervecera.

IV.-JUSTIFICACIÓN

La cerveza es la bebida alcohólica más consumida a nivel mundial, siendo México el principal exportador en el mundo y el séptimo con mayor producción a nivel mundial. En México existen dos grandes grupos cerveceros (Grupo Heineken-Cauhtémoc Moctezuma y Grupo Modelo-Anheuser-Busch) que son los mayores contribuyentes a las cifras anteriormente mencionadas. No obstante, existen 55 unidades económicas dedicadas a la elaboración de cerveza, las cuales aportan 1.2 % de la producción bruta total manufacturera del país, según el instituto nacional de estadística y geografía. Esto quiere decir que, a pesar de los dos grandes grupos cerveceros en México, existen pequeñas unidades dedicadas a la elaboración de

cerveza, las cuales lo hacen de manera artesanal o a nivel micro-cerveceros. Según el INEGI en el 2014, 11834 personas eran trabajadores de empresas productoras de cerveza lo cual representa una gran fuente de empleo.

Sin embargo, la mayoría de estas 55 unidades dedicadas a la producción de cerveza utilizan como materia prima cebada, maíz y arroz. Siendo estos dos últimos utilizados como adjuntos convencionales para reducir la cantidad de malta de cebada empleada en la elaboración de cerveza, con la finalidad de reducir costos de producción. Sin embargo, uno de los inconvenientes de usar estos cereales, es que en ocasiones hay escasez en la producción nacional, aunado a la baja producción de arroz y la insuficiente producción de maíz en el país. Por otra parte, el maíz representa la principal fuente energética para la dieta de los mexicanos, por lo que su producción es insuficiente al destinarla para otros fines.

El presente trabajo propone la elaboración de un nuevo estilo de cerveza, sustituyendo las fuentes convencionales de almidón, por ejemplo, el maíz y el arroz por un adjunto no convencional como el almidón nativo de yuca. El uso de este tubérculo es dado por las características que presenta. Una de ellas es la temperatura de gelatinización muy similar al maíz y a el arroz. El maíz tiene un intervalo de 62-72 °C en su temperatura de gelatinización, por otro lado, el arroz oscila en un intervalo de 62-78 °C. Siendo la temperatura pico de gelatinización de 64.1 °C para el almidón de yuca, oscilando en un intervalo de 61.7-72.6 °C este dato fue previamente realizado en esta investigación con el propósito de tener una comparación con los adjuntos convencionalmente utilizados en la cerveza.

El empleo de almidón nativo de yuca para la elaboración de una cerveza artesanal, generará una mayor demanda de este cultivo en el sector primario, destinado a la industria cervecedora y no solo al consumo en fresco o hacia la industria harinera o de la alimentación animal; impulsando así la producción agrícola de la región, ya que Oaxaca se encuentra dentro de los únicos estados productores del cultivo de yuca.

V.-OBJETIVOS

V.1.-General

Obtener un nuevo estilo de cerveza utilizando almidón nativo de yuca (*Manihot esculenta*) como adjunto no convencional para la obtención de azúcares fermentables, con aceptabilidad fisicoquímica y sensorial.

V.2.-Específicos

- Elaborar diferentes formulaciones de cerveza incorporando diferentes porcentajes de malta-almidón.
- Caracterizar fisicoquímicamente las cervezas obtenidas en función del contenido de azúcares reductores, contenido de alcohol, pH, color, CO₂, y unidades de amargor.
- Determinar el perfil de alcoholes en las diferentes formulaciones de cerveza empleando cromatografía de gases.
- Realizar un análisis sensorial de las formulaciones de cerveza.

VI.-MATERIALES Y MÉTODOS

VI.1. Materiales

La yuca (*Manihot esculenta*) empleada se encontraba en un estado de madurez cosechable y fue adquirida en el mercado local de San Juan Bautista Tuxtepec, Oax., México.

La malta de cebada utilizada fue proveniente de un mismo lote de producción de la marca Boortmalt (Belgica). De igual forma se utilizó lúpulo de la marca Hopunion

tipo galena, chinook y levadura de la marca safale tipo ale (*Saccharomyces cerevisiae*) de un mismo lote de producción.

El agua que se utilizó para el proceso de elaboración de cerveza fue de menos de 90 ppm de dureza, proveniente de la purificadora “Santísima Trinidad” ubicada en la localidad de Benemérito Juárez (Palo Gacho, Tuxtepec, Oax., México).

VI.2. Aislamiento del almidón de yuca (*Manihot esculenta*)

Para la obtención del almidón nativo de yuca (*Manihot esculenta*) se empleó la metodología propuesta por Flores-Gorosquera *et al.* (2004) con algunas modificaciones. El tubérculo en estado fisiológico fresco se lavó y peló para eliminar la cáscara, posteriormente se cortó en trozos pequeños que se colocaron en un recipiente de 40 L con tres cuartas partes de agua, consecutivamente fueron licuados en una licuadora tipo industrial (Blender modelo CB15, EUA) a baja velocidad durante 40 s. La mezcla obtenida se hizo pasar primero por un colador para retirar los excesos de fibra y después fue tamizada con malla No. 40 (0.425 mm) y No.100 (0.15 mm). La mezcla obtenida de agua-almidón se dejó sedimentar durante 2 días, posteriormente fue lavada hasta quedar un líquido de salida transparente en la superficie y en el fondo los sólidos (almidón). El sobrenadante se desechó y los sólidos se colocaron en un secador de charolas (APEX modelo SSE 17 M, USA) a una temperatura de 40 °C, durante toda la noche. El almidón seco fue molido en un mortero y posteriormente se tamizó nuevamente por una malla No. 100 para finalmente ser almacenado en un recipiente de plástico con cierre hermético a temperatura ambiente hasta su posterior uso.

VI.3. Determinación de los cálculos de malta y adjunto que se utilizará.

Para determinar la cantidad de malta a utilizar en cada cocimiento que se realizó se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

1. Volumen de fermentación.

2. °Brix o °Plato al inicio de la fermentación.
3. Gravedad específica ((°Brix*4) /1000) +1).
4. Densidad del agua.
5. % de humedad de maltas y almidón.
6. % de extracto que aportará la malta base, las maltas especiales y el almidón de yuca.
7. % de proporción de maltas-almidón de yuca.
8. % de eficiencia de filtrado

Posteriormente se utilizó la siguiente fórmula, atendiendo cada parámetro con la información previa solicitada.

$$\text{kg de malta o almidon} = \frac{(\%M)(Vol)(\rho a)(GE)(\% \rho m)}{(\%E)(1 - \%H)(\%EF)}$$

%M: porcentaje del tipo de malta u almidón a utilizar.

Vol: Volumen de la fermentación

ρa: Densidad del agua.

GE: Gravedad específica del mosto antes de entrar a fermentación

%ρm: porcentaje de la densidad del mosto en °Brix.

%E: Porcentaje de extracto de la malta u almidón.

%H: Porcentaje de humedad de la malta u almidón.

%EF: Porcentaje de la eficiencia de filtrado.

VI.4. Elaboración de la cerveza con almidón de yuca como adjunto no convencional.

VI.4.1. Molturación del grano:

El primer paso antes de la elaboración de la cerveza consistió en el pesado y el molturado de la malta, que se realizó con un molino de malta automático (Micro mod. AMQMOD02, España). Con la molturación del grano se abrieron los granos

sin romper su cáscara, de forma que esta sirviera después como un lecho filtrante. La molturación del grano permitió que el agua del macerado pudiera disolver el almidón alojado en el centro del grano con facilidad y que las enzimas se propaguen libremente por el empaste, degradando así el almidón en azúcares fermentables y dextrinas de bajo peso molecular.

VI.4.2. Maceración del adjunto:

El objetivo del macerado es hidrolizar parcialmente el almidón de yuca (licuefacción) en dextrinas de alto peso molecular, dextrinas medianas, algunas maltosas y glucosas, con el objetivo de facilitar a las enzimas de la malta la degradación total o parcial de algunas dextrinas hasta obtener dextrinas de bajo peso molecular, maltosas, maltotriosas y glucosas.

Para el macerado del adjunto se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones: la fuente del adjunto, temperatura de gelatinización, condiciones de la enzima, e incrementos de temperatura.

En este caso la maceración se inició a 50 °C donde se adicionó la enzima (α -amilasa) e incrementó la temperatura hasta alcanzar 64 °C a una velocidad de 1 °C/min. Una vez alcanzada la temperatura de 64 °C, se mantuvo en un reposo por 30 min donde se llevó acabo la licuefacción del almidón de yuca. Posteriormente se elevó la temperatura empleando una velocidad de 1 °C/min hasta alcanzar los 100 °C durante 10 min como puede observarse en la Figura 10. Finalmente se atemperó y descargó en la maceración de la malta en el punto de elevación de temperatura hasta alcanzar los 70 °C, esta descarga se realizó paulatinamente hasta alcanzar dicha temperatura.

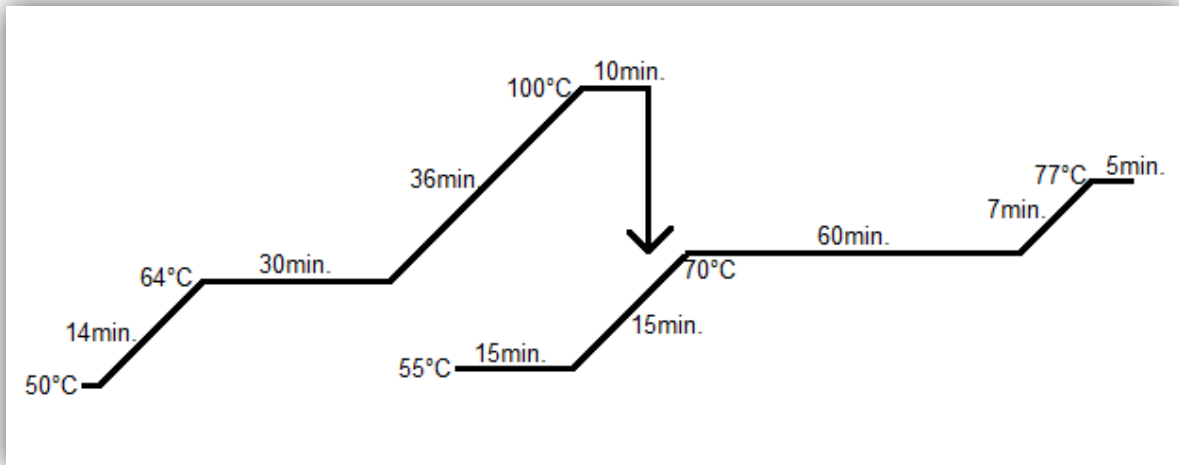


Figura 10. Rampas de temperatura y tiempos de reposo para la maceración de la malta y el almidón de yuca.

VI.4.3. Maceración de la malta-adjunto:

El objetivo del macerado es convertir el almidón contenido en los granos de malta en azúcares fermentables (maltosa, maltotriosa, y glucosa) que podrán ser transformados en alcohol y CO₂ por el metabolismo anaerobio de la levadura. Esta etapa en el proceso de maceración es conocida como sacarificación y fue llevada a cabo por las enzimas, α y β amilasas (diastasa), presentes en la malta. La operación se realizó en la olla de maceración. Se mezcló agua con la carga de granos molturados, a temperatura ambiente, y fue llevada a 55 °C para su reposo durante 15 min. Con el objetivo de solubilizar las proteínas contenidas en la malta, y así aportar FAN (free amino Nitrogen) que posteriormente fue utilizado por la levadura, para el crecimiento y proliferación celular. Consecutivamente se adicionó la hidrólisis parcial del almidón de yuca (macerado del adjunto) e incrementó la temperatura hasta 70 °C controlando el aumento de temperatura en 1 °C/min y la adición de la licuefacción del almidón de yuca (macerado del adjunto) ya que esta adición fue hecha paulatinamente hasta alcanzar los 70 °C. Aquí se llevó a cabo un reposo de 60 min el cual permitió la sacarificación del almidón de la malta y del

almidón de yuca previamente hidrolizado parcialmente. Durante los 60 min de reposo, se realizó cada 5 min la prueba de reacción al iodo que fue de una coloración azul negruzco a un color naranja amarillento, el cual demostró que la sacarificación fue concluida. Consecutivamente se elevó la temperatura a 77 °C con el objetivo de inactivar a las enzimas como se muestra en la Figura 11. La escala de pH va de 0 a 14 y el valor óptimo fue de 5.3, para la medida de pH se utilizó un medidor de pH digital.

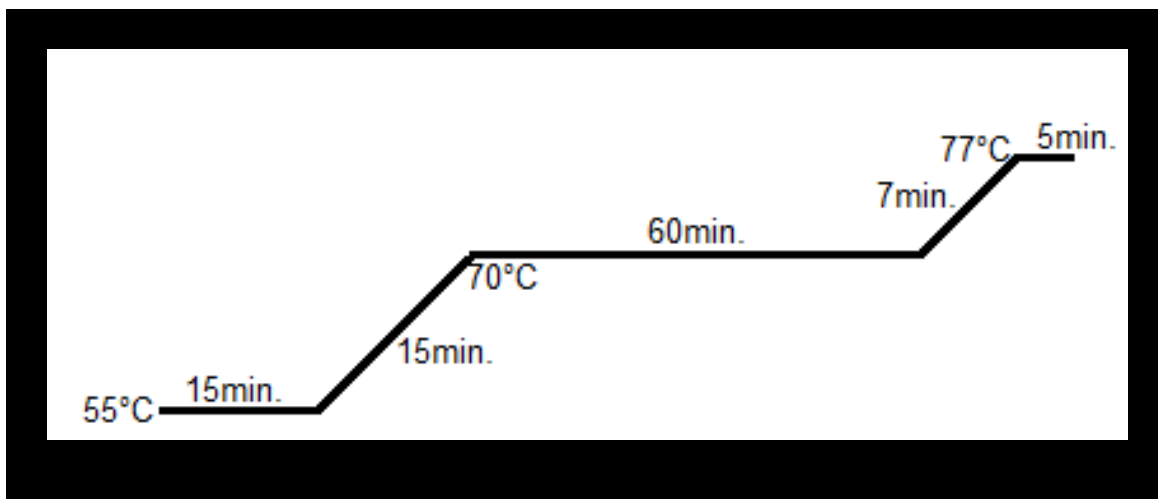


Figura 11. Rampas de temperaturas y tiempos de reposo para la maceración de la malta.

VI.4.4. Recirculación y lavado del grano:

Después del macerado se obtuvo una solución rica en azúcares fermentables de sabor dulce y de tacto adhesivo, el cual se denomina mosto. También quedó un residuo sólido proveniente de la cascarilla del grano, al que se denomina afrecho o heces. La recirculación consistió en sacar el mosto por la parte de abajo y añadirlo por la de arriba lentamente para no mover demasiado la cascarilla y formar un lecho filtrante. El lavado del afrecho, consistió en añadir agua caliente aproximadamente en un intervalo de 75-78 °C por encima de éste, para extraer el extracto soluble final. La cantidad de agua de riego y de lavados del afrecho dependió de la concentración del primer extracto.

VI.4.5. Cocción del mosto:

El mosto fue pasado a la olla de cocción y fue tomando temperatura hasta acercarse al punto de ebullición. Se fue ajustando la temperatura para conseguir una ebullición constante y vigorosa, manteniendo siempre la olla semi-tapada. Durante la ebullición se fue añadiendo la cantidad de lúpulo en 3 diferentes etapas, a los 5 min de hervor, a los 25 min de hervor y a los 55 min de hervor. Después de 60 min de cocción se realizó un re-circulamiento de manera que se produjera un efecto envolvente en el mosto lupulado, así como un descanso de 30 min para sedimentar proteínas y fueran retiradas, de lo contrario podría haber obstaculizado el trabajo de la levadura en el proceso de fermentación. Una vez cocido el mosto, se tomó nuevamente la densidad (densidad inicial) y se realizó el trasiego.

VI.4.6. Enfriamiento del mosto:

El enfriamiento del mosto se realizó pasando el mosto por un intercambiador de placas, partiendo de 101 °C hasta 18-20 °C aproximadamente, con el objetivo de inocular la levadura ale (*Saccharomyces cerevisiae*) ya que la temperatura óptima de fermentación se encuentra en un rango de 18-20 °C. El trasiego al fermentador se realizó mediante mangueras y bombas.

VI.4.7. Fermentación:

La fermentación del mosto se realizó en dos fases:

1ª.- Se agregó al mosto atemperado entre 18-20 °C la levadura. La cantidad total de levadura que se calculará teniendo en cuenta el volumen de mosto que contiene el fermentador de acuerdo a las especificaciones del fabricante, teniendo en cuenta que al inicio de la fermentación debe existir de 12-16 millones de células/mL.

2ª.- Una vez finalizada la primera fermentación el mosto se sometió a un proceso de frío escalonado con el fin de sedimentar la levadura en la cerveza inmadura

consecuentemente se clarificará la cerveza. Este proceso de frío proveniente del vino, se suele utilizar en cervezas que no se filtran ni se pasteurizan como es el caso en las cervezas artesanas.

VI.4.8. Embotellamiento y maduración:

La carbonatación en la cerveza se hizo de manera forzada, esto significa que se introdujo CO₂ saturando la atmosfera en el barril, se tuvo en cuenta la temperatura mínima a la que iba llegar la cerveza ya que esta definirá la presión de CO₂ que deberá suministrarse para alcanzar los volúmenes de CO₂ necesarios en la cerveza envasada. Se embotelló y se corchó manualmente, clasificando y contado las cantidades antes de almacenar para sus posteriores análisis.

VI.5. Caracterización fisicoquímica de la cerveza

VI.5.1. Determinación del pH y color

Para la determinación del pH y color de la cerveza se siguió el método (10.034) propuesto por la AOAC (2005). El análisis se basó en la determinación de la concentración de iones hidrógeno con un medidor de pH ajustado a 4.0 y a 7.0 con soluciones tampón. Se atemperó la cerveza a 20 °C y se desgasificó por completo. Se introdujeron los electrodos previamente enjuagados en la muestra de cerveza y se midió el pH, con un potenciómetro. Para la determinación del color se utilizó el método (10.002) espectrofotométrico propuesto por la AOAC (2005). El método se basa en medir la absorbancia a una longitud de onda de 430 nm y 700 nm a 20 °C en la cerveza previamente desgasificada. Cuando se obtuvieron los valores de absorbancia a 430 y 700 nm, es mayor o igual a 25 (factor), la muestra estará libre de turbidez visible y se realizó el cálculo para la determinación de color, y se obtuvo el color en unidades °EBC. Las unidades de °EBC de color corresponden a: °EBC= 25 x A430.

VI.5.2. Determinación de CO₂

La determinación del dióxido de carbono se realizó mediante el método manométrico. Se ocupará un medidor de CO₂ y presión ci-can-5001. Equipo diseñado según las normas de la American Society of Brewing Chemists (ASBC) sobre métodos de análisis para elaboración de cervezas y bebidas carbonatadas. El equipo cuenta con un empaque hermético y un perforador con punta hueca, conectado a un manómetro de presión, así como a una válvula de salida.

Para realizar la medición se aseguró que la válvula de salida estuviera cerrada completamente, posteriormente se agitó la botella de cerveza a baja temperatura. Se perforo la botella y se agitó, primero suavemente, después vigorosamente. La manecilla del manómetro empezó a subir; Se agitó hasta que la manecilla del manómetro alcanzo la estabilidad y se registró la presión obtenida. consecutivamente se procedió a abrir la válvula de salida dejando salir la espuma. Se retiro el equipo y con la ayuda de un termómetro se registró la temperatura de la cerveza. Con los datos obtenidos proseguimos a determinar el volumen de CO₂ contenido en la cerveza, con ayuda de la tabla de volúmenes de CO₂ basada Presión y temperatura. Ver apéndice A.

VI.5.3. Determinación de los azúcares reductores

El método que se utilizó para la determinación de azúcares reductores, fue el volumétrico de Lane-Eynon que se basa en la determinación del volumen de una disolución de la muestra, que se requiere para reducir completamente un volumen conocido del reactivo alcalino de cobre. El punto final se determina por el uso de un indicador interno, azul de metileno, el cual es reducido a blanco de metileno por un exceso de azúcar reductor. (NMX-F-312-1978).

La muestra se descarbonató por agitación y se atemperó a 20 °C, se pipeteó 50 mL de la muestra en un matraz volumétrico de 100 mL, y se aforó con agua destilada y homogenizó.

En una bureta se colocó la cerveza diluida, posteriormente en un matraz Erlenmeyer se colocó 5 mL de solución fehling A, solución fehling B y 50 mL de agua destilada y se agitó. Consecutivamente se adicionó al matraz cerveza diluida tomando en consideración que se debe colocar 1 mL menos del ultimo gasto obtenido. La mezcla se calentó y se permitió la ebullición por 2 min, pasados los 2 min de ebullición se añadieron 4 gotas de azul de metileno. A partir de este punto el tiempo se cronometró para adicionar 4 gotas de azul de metileno cada 15 s. La adición se efectuó hasta que se obtuvo un viraje de azul a rojo ladrillo, la titulación no debe exceder los 4 min partiendo de la ebullición de 2 min. Por último, se determinó el % de maltosa, relacionando el factor del reactivo Fehling.

VI.5.4. Determinación de unidades de amargor

La determinación se basó en el método (10.084) químico, según la AOAC (2005). Se transfirieron 10 mL de cerveza fría (10 °C) carbonatada a un tubo centrífuga de 50 mL, donde las sustancias amargas fueron extraídas con 20 mL de iso-octano en un medio acidificado con 1mL de HCl 3 N mediante centrifugación a una velocidad de 3500 rpm durante 15 min. Luego, se midió la absorbancia de la fase orgánica, la capa de iso-octano a 275 nm. Luego se obtuvieron las unidades de amargor °IBU. Las unidades de amargor corresponden a: °IBU= 50 x A275.

VI.5.5. Evaluación del tiempo de retención de espuma

La determinación de estabilidad de la espuma se realizó utilizando el Formador de Espuma Haffmans¹ a 20 °C. La medición de la estabilidad de la espuma se realizó de acuerdo al principio de Nibem, 1973. Este se basó en la medición del tiempo en segundos, en el cual, el collar de espuma descendió 10, 20 y 30 mm. En el momento que la espuma descendió hasta 10 mm desde el borde del vaso, el temporizador del equipo se encendió y el curso del tiempo en los próximos 30 mm se midió

digitalmente. Un sistema móvil de electrodos, reacciona a través de la conductividad de la espuma, midiendo el nivel de la misma.

VI.5.6. Determinación del contenido alcohólico por el método gravimétrico y Cromatografía de gases

Para la determinación del grado de alcohol, se utilizaron dos metodologías, un método gravimétrico y un método de mayor precisión como lo es la cromatografía de gases. El método gravimétrico descrito por Schmidt–Hebbel (1966), consistió en eliminar el anhídrido carbónico de la cerveza, agitándola dentro de un frasco Erlenmeyer a medio llenar, primero suave y después vigorosamente a 20 °C. En un matraz de 250 mL se colocaron 100 mL de cerveza, se agregaron 50 mL de agua para enjuagar, tanino y óxido de magnesio para evitar la producción de mucha espuma y para retener a la vez el ácido. Se recibieron 90 mL de destilado que se completaron con agua destilada y se midió el grado alcohólico con un alcoholímetro de Gay-Lussac a 15 °C.

Por otro lado, el método de cromatografía de gases para la determinación del alcohol se llevó a cabo empleando el procedimiento descrito por Pontes *et al.* (2009) con ligeras modificaciones. Se utilizó un sistema cromatográfico Agilent 7890A equipado con inyector split/splitless, horno de columna y detector de ionización en llama (FID). El control del equipo y análisis de los datos se llevó a cabo con el programa ChemStation. Las condiciones de operación del GC-FID se describen a continuación. Se utilizó nitrógeno como gas acarreador a un flujo constante de 0.7 mL/min. El inyector se mantuvo a una temperatura de 200 °C y se introdujo 0.5 µL de las muestras y/o estándares con un modo de inyección de split 50. La separación de los analitos se llevó a cabo en una columna DB-624 de 30 m, 0.25 mm de diámetro interno y 1.44 µm de espesor de fase estacionaria. El programa de temperatura de horno de columna fue el siguiente: temperatura inicial de 100 °C y se mantuvo por 1 min; incremento de 20 °C/min hasta llegar a 140 °C y se mantuvo por 1 min; incremento de 40 °C/min hasta llegar a 200 °C y se mantuvo por 3.5 min. El detector se programó a una temperatura de 220 °C con un flujo de 45 mL/min de

H2 y 300 mL/min de aire. Para cuantificación se prepararon estándares externos de metanol y etanol en un intervalo de 0.1 a 0.5 % (v/v) y estándar interno de acetonitrilo al 0.5 % (v/v). Para la preparación de las muestras, se les eliminó el CO₂ mediante pulsos de ultrasonido de 2 s hasta que no se forme espuma y, se colocaron en un vial 100 µL de cerveza desgasificada, 100 µL de acetonitrilo al 5 % (v/v) y 800 µL de agua desionizada.

VI.5.7. Extracto aparente

El extracto aparente se determinó por medio de tablas (apéndice B) según el método (10.020) descrito por la AOAC (2005). Se tuvo en cuenta la lectura de °Brix en un refractómetro. Posteriormente se calculó la gravedad específica y se procedió a localizar el dato correspondiente de acuerdo a la gravedad específica.

VI.5.8. Extracto de mosto original (EMO)

El extracto de mosto original (EMO) se calculó mediante la siguiente ecuación, a partir de la graduación alcohólica y el extracto real (AOAC 2005; 10.021). El extracto seco primitivo o EMO se expresó en % peso:

$$EMO = [(P * 2.0665) + E] * \frac{100}{[100 + (P * 1.0665)]}$$

Siendo:

P = Graduación alcohólica (g/100 g de cerveza)

E = Extracto real de la cerveza (g/100 g)

VI.6. Evaluación sensorial de la cerveza

La evaluación sensorial es una técnica de medición y análisis de importancia como los métodos químicos, físicos, microbiológicos, etc. Se ha utilizado para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a las propiedades o atributos de los alimentos y materiales, que son percibidas por los sentidos del gusto, tacto, olfato, vista y oído (Anzaldúa-Morales, 2005; Sidel *et al.*, 1985).

Para evaluar la aceptación de la cerveza de malta con almidón de yuca como adjunto no convencional se utilizó una prueba de graduación según lo descrito por John Compton en *The practical Brewer* (1977). Se presentaron 3 muestras de cervezas artesanales con diferentes proporciones de malta-almidón de yuca (20, 15 y 10 %). La evaluación se llevó a cabo a través de un ordenamiento de las muestras en base a la preferencia de los panelistas, en este caso consumidores de cerveza artesanal. A cada muestra se le asignó un código o clave alfanumérico (785, 689, 524), el cual fue aleatorio para no presentar predisposición en los consumidores. Los consumidores degustaron cada muestra y ordenaron las muestras de forma creciente en base a su preferencia sobre las tres diferentes muestras de cerveza artesanal. Como se puede observar en la Figura 12. Posteriormente se calculó un promedio de graduación y se determinó su significancia en base a las tablas de Kramer. (1963).

Nombre del producto: _____ **Fecha:** _____

A continuación, se muestran 3 muestras de cerveza artesanal codificadas con los siguientes números aleatorios 785,689 y 524. Usted debe probarlas en el orden que usted guste y Reordenarlas en forma creciente de acuerdo a su preferencia hacia las muestras.

GRADO DE PREFERENCIA

1.- _____

2.- _____

3.- _____

Figura 12. Formato para prueba de ordenamiento en la cerveza elaborada con distintos porcentajes de almidón de yuca.

VII.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VII.1. Caracterización fisicoquímica de la cerveza

Con los resultados obtenidos en todos los análisis fisicoquímicos realizados a todas las cervezas con diferentes porcentajes de malta de cebada-almidón de yuca fue posible determinar cuándo se presentan deficiencias en el proceso de elaboración de la cerveza, fermentación inadecuada, contaminación microbiana, y el efecto de la sustitución de los porcentajes de almidón yuca, ya que al sustituir malta de cebada

por un adjunto, influirá directamente en diversas características como formación de la espuma, el color y el sabor de la cerveza. A continuación, se muestran los resultados del análisis realizado a cada cerveza en sus distintos porcentajes.

VII.1.1. pH y color

El pH es uno de los análisis más importantes dentro del proceso de elaboración de cerveza, ya que se monitorea desde la maceración, en la olla de cocimiento, en fermentación, y en la cerveza terminada. El monitoreo en estos subprocesos se realiza con el objetivo de asegurar que el pH final de la cerveza terminada se encuentre en el intervalo óptimo. El pH final en una cerveza oscila entre 4.3-4.6 siendo este intervalo usual para una cerveza terminada y un intervalo óptimo de 4.2-4.3, según Kunze (2006). El descenso del pH podría indicar una contaminación y esto se debería a una mala manipulación del mosto antes de entrar a su fermentación. Uno de los factores que influyen en no alcanzar un intervalo óptimo de pH en la cerveza terminada es la dureza del agua que se utiliza en el macerado.

El pH obtenido en las cervezas de malta de cebada-almidón de yuca en una proporción de 80-20 % respectivamente, fue de 4.3, en la proporción 85-15 % se obtuvo un pH final de 4.2, por último, en la proporción 90-10% se obtuvo un pH de 4.4 como se muestra en la Tabla 4. En el 2015, Agulló-García, reportó valores próximos a 4.2, en diferentes estilos de cervezas artesanales, con diferente tipo de fermentación y maceración.

Tabla 4. Resultados de pH y °Color en las diferentes formulaciones de cerveza.

Proporción	pH	°Color
80-20 %	4.3	4.51
85-15 %	4.2	5.12
90-10 %	4.4	6.17

Como puede observarse en la Tabla 4, el pH se encontró dentro del intervalo óptimo en todas las cervezas terminadas, lo cual fue posible a través de una buena manipulación del mosto con las medidas higiénicas necesarias. No obstante, el principal factor para lograr un pH óptimo dentro de la maceración y por ende un pH final óptimo en la cerveza terminada, son los minerales presentes en el agua. Para una concentración entre 50 y 150 ppm de calcio, éste supera la capacidad búfer de los fosfatos de la malta de cebada, logrando así una disminución de pH en el macerado y obtener el intervalo óptimo, sin embargo, las concentraciones de carbonatos y bicarbonatos deben ser bajas, en concentraciones inferiores a 50 ppm. Es por ello que el agua juega un papel muy importante en la elaboración de cerveza, ya que de ésta dependerá el valor de pH obtenido, además de una buena manipulación del mosto para evitar su contaminación.

Por otro lado, el color es un atributo esencial en una cerveza, al igual que la espuma, ya que éstos predispondrán al consumidor a quererla probar o no. Es por ello que el color no fue considerado en la aceptación del producto, por la existencia de una variación significativa en las 3 muestras. No obstante, el color no interfiere en la calidad de cada uno de los tratamientos (malta de cebada-almidón de yuca) de las cervezas, pero si cambia ligeramente acentuaciones como aroma y notas de sabor. El punto esencial de la investigación fue evaluar la aceptación sensorial al paladar, así como una caracterización fisicoquímica de las cervezas obtenidas, para su análisis dentro de los intervalos de aceptación. Sin embargo, este análisis fue llevado a cabo para la clasificación del estilo de cerveza. Como se puede observar en la Tabla 4. Existe una variación significativa entre los °color de los diferentes porcentajes especialmente en la proporción 90-10 % en comparación a las otras dos proporciones. Esto es debido a la carga de malta de cebada utilizadas en cada formulación de malta-almidón de yuca. Así como el tiempo de cocción, la tasa de evaporación y el pH final del mosto después de la cocción según Briggs *et al.* (1981) y Dougherty, (1977). Como se mencionó anteriormente se puede observar que el °color es mucho más alto en la combinación de 90-10 % en comparación con los

demás tratamientos (malta de cebada-almidón de yuca). Al sustituir una porción de malta por almidón, se encuentra dentro de este porcentaje que fue sustituido las maltas especiales, las cuales sirven para acentuar características como el color, aroma y notas de sabor. De acuerdo con lo anterior, en la combinación con mayor porcentaje de malta existe mayor cantidad de maltas especiales, las cuales influyen directamente en el color.

VII.1.2. Contenido de CO₂

La carbonatación es uno de los parámetros más importantes en la calidad de una cerveza, ya que éste será el vehículo para la formación de espuma. En la literatura, existen variaciones con respecto a la concentración de gas solubilizado en la cerveza, es decir, los volúmenes de CO₂ que contendrá una cerveza, dependiendo de su estilo. No existe una ley o norma que restrinjan el uso de niveles de volúmenes de CO₂. Según Kunze, (2006) mientras más CO₂ se encuentre disuelto mayor formación de espuma se logrará. Esto no tendrá nada que ver con la retención de espuma ya que ésta dependerá de las sustancias tensioactivas disueltas en la cerveza. A continuación, se muestran los resultados de los volúmenes de CO₂ en los diferentes porcentajes de malta de cebada-Almidón de yuca en la Tabla 5.

Tabla 5. Volumen de CO₂ en las diferentes formulaciones de cerveza.

Proporción	Volumen de CO ₂
80-20 %	2.75
85-15 %	2.72
90-10 %	2.76

El volumen de CO₂ para las 3 cervezas con distintos porcentajes fue planeado para encontrarse en un intervalo de 2.7-2.8 volúmenes de CO₂, con el objetivo de clasificar las cervezas terminadas en un estilo similar al American pale-ale, con la innovación de almidón de yuca como un adjunto no convencional. Este estilo oscila en un intervalo de 2.24-2.75 volúmenes de CO₂ según Holle (2003).

VII.1.3. Azúcares reductores

Este análisis nos ayuda a tener idea del grado de fermentabilidad que tuvo el mosto, ya que el resultado se expresa en % de azúcares reductores directos presentes en la cerveza. Este término se refiere a azúcares fermentables que no fueron metabolizados por la levadura. Debemos tener en cuenta que, en la densidad inicial del mosto previo a la fermentación tenemos sólidos solubles, los cuales están conformados por azúcares fermentables y no fermentables, estos no fermentables son dextrinas de bajo peso molecular imposibles de metabolizar por la levadura. Los resultados expresados en % de azúcares reductores se refieren esencialmente a los azúcares fermentables en el mosto. Según Compton (1977). una cerveza lager aceptable en promedio tiene un 1.1 % de azúcares reductores con un intervalo de aceptabilidad de 0.8-1.5 %. Los resultados de las cervezas analizadas se muestran a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 6. Porcentaje de azúcares reductores directos presentes en las diferentes formulaciones de cerveza.

Proporción	% de azúcares reductores.
80-20 %	1.58
85-15 %	1.69
90-10 %	1.60

Como se observa en la Tabla 6. Los porcentajes de azúcares reductores están fuera del intervalo de aceptación. No obstante, no son tan distantes del límite superior del intervalo de aceptación, esto se debe a que no se utilizó el suficiente nutriente para la levadura. Según Swistowicz (1977), un elevado porcentaje de azúcares reductores puede deberse a una mala nutrición de la levadura o deterioro de la misma.

VII.1.4. Unidades de amargor

Los resultados obtenidos, tras los análisis de amargor nos indican que existe una correcta isomerización de los ácidos alfa en la ebullición del mosto. Ya que las unidades de amargor fueron similares las diferentes formulaciones de cerveza, obteniendo las unidades IBU planificadas en el diseño de la cerveza. Según Kunze (2006), las cervezas claras normales presentan valores en un intervalo de 20-30 IBU. Es por ello que en el diseño de la cerveza se planificó en un intervalo de 26-27 IBU, logrando así valores similares en las 3 diferentes formulaciones, como puede observarse en la Tabla 7.

Tabla 7. Unidades de amargor o IBU en las diferentes formulaciones de cerveza.

Proporción	IBU
80-20 %	26.56
85-15 %	26.85
90-10 %	26.10

Estas unidades de amargor o IBU, de valores similares se obtuvieron a través de los pesos correctos de lúpulo en combinación con la adición adecuada al mosto en

la etapa de cocción en los tiempos establecidos. Estos tiempos establecidos jugaron un papel muy importante en el amargor final de la cerveza (IBU), el aroma y el sabor.

VII.1.5. Tiempo de retención de espuma

La espuma es de los atributos más esenciales en una cerveza. Ya que es muy atractivo para el consumidor poder observar esta mientras degusta un vaso de cerveza. No se debe confundir el termino retención de espuma y nivel de carbonatación en una cerveza. El nivel o volumen de carbonatación hace referencia a el CO₂ solubilizado en la cerveza, el cual será el vehículo para la formación de espuma. La retención de espuma es influida directamente por los componentes tensoactivos presentes en la cerveza. Siendo estos componentes tensoactivos proteínas e iso-humulonas, que se consiguen a través de una correcta isomerización de las humulonas en la etapa de ebullición y lupulado del mosto según Suntrup (1980). A continuación, se muestran los resultados obtenidos del análisis de retención de espuma en la Tabla 8.

Tabla 8. Tiempo de retención de espuma en las diferentes formulaciones de cerveza.

Proporción	Tiempo (s)
80-20 %	205
85-15 %	268
90-10 %	299

En los resultados obtenidos en cada una de las proporciones malta de cebada-almidón de yuca, se observa que existe una variación del tiempo de retención de espuma, esta variación está relacionada directamente con la proporción de malta de cebada en cada uno de los porcentajes. A una mayor proporción de malta de

cebada mayor tiempo de retención de espuma se logró, debido a que la malta de cebada y el lúpulo al ser correctamente procesados, nos proporcionan componentes tensoactivos, que recubren las lamelas de las burbujas generadas por la liberación del CO₂. Es por ello que se obtuvo un mejor tiempo de retención de espuma en la formulación 90 % de malta de cebada-10% almidón de yuca. Según Kunze, (2006) valores por debajo de los 220 s no son recomendados, lo que nos da pauta para descartar la proporción 80-20 % como una cerveza con buena retención de espuma. La proporción 85-15 % alcanza los intervalos descritos por Kunze como buenos, los cuales oscilan entre 260 y 280 s. Teniendo así aceptabilidad la proporción que contiene 15 % de almidón de yuca, al igual que la que contiene 10 % de almidón de yuca, ya que ésta se encuentra casi en el valor (300 s) descrito por Kunze como muy bueno.

VII.1.6. Contenido alcohólico

La determinación del contenido alcohólico en una cerveza es de suma importancia, debido a que el porcentaje de alcohol contenido en la cerveza dará una pauta para poder clasificarla en un estilo. Además de que el contenido alcohólico es muy importante para el consumidor dependiendo del estilo de cerveza.

El método gravimétrico para la determinación del contenido alcohólico puede tener cierto margen de error. No obstante, se determinó el contenido alcohólico por medio de cromatografía de gases el cual tiene mayor precisión para esta determinación. Según la ASBC, (1992) el método de CG es un método preciso para la evaluación del alcohol en la cerveza. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la Tabla 9.

Tabla 9. Contenido alcohólico en las diferentes formulaciones de cerveza.

Proporción	Método gravimétrico	C.G
80-20 %	5.7	5.75279
85-15 %	5.4	5.32882
90-10 %	5.7	5.63811

El contenido alcohólico en las cervezas analizadas es similar en los tres casos. Con pequeñas variaciones. Ciertamente se encuentran aceptables, ya que el diseño de la cerveza fue planificado para un contenido alcohólico de 5-6 % de alcohol. Según la Beer Judge Certification Program, (2015) el intervalo de alcohol en volumen para una cerveza american pale ale (APA) es de 4.5-6.2 %, siendo este estilo similar a las formulaciones de cerveza obtenidas en esta investigación. Evidentemente, existe una variación de 0.3 % entre la muestra con 15 % de almidón en comparación de las restantes como se puede observar en la Tabla 9, de acuerdo al análisis realizado por gravimetría. Siendo rigurosos en el requerimiento del análisis, se obtuvieron similitudes, pero con mayor precisión en el análisis mediante cromatografía de gases. Considerando los resultados se aprecia una variación en las 3 diferentes formulaciones, siendo más lejana la formulación de 15 %, con respecto al contenido alcohólico de las otras dos formulaciones. No obstante, se encuentran sobre lo planificado, recordemos que el procesamiento de estas cervezas se hizo de manera artesanal aunado a esto, el grado alcohólico en una cerveza pueden tener variaciones. Altagracia-Martínez *et al.* (2013) reportaron variación en 5 muestras diferentes de cerveza, compararon el contenido alcohólico realizado experimental con lo informado en las etiquetas, y en 4 de ellas el contenido alcohólico es menor a lo reportado en la etiqueta. En la muestra No 32, se indica en la etiqueta un 3 %Alc.Vol. en la determinación experimental se obtuvo un 2.6 %Alc.Vol. por lo que hay una variación de 0.4 %Alc.Vol de lo real a lo reportado. De igual manera existe variación en lo reportado en las etiquetas y los resultados obtenidos en la determinación experimental en las otras 3 muestras de cerveza y

en una de ellas no se informa el contenido alcohólico. Indudablemente el contenido alcohólico más que un dato preciso es un dato que se maneja en un intervalo el cual es precisado en el diseño de la cerveza.

VII.1.7. Extracto aparente

El extracto aparente se mide con un densímetro o un refractómetro. Este análisis es aparente porque solo nos da una idea de la cantidad de extracto presente en la cerveza terminada. Debido a que el densímetro o el refractómetro están fabricados para lecturas de sólidos solubles en agua, y puesto que la cerveza contiene alcohol, este induce un error en la lectura, al ser su densidad menor a la del agua. No obstante, este análisis nos da una idea de cómo disminuye paulatinamente el extracto de la cerveza y nos indica cuando la fermentación ha concluido para poder continuar con el proceso de maduración y purga de compuestos volátiles. A continuación, se muestra en la Tabla 10, el extracto aparente presente en las cervezas de distinta proporción de malta y almidón de yuca terminada.

Tabla 10. Contenido de extracto aparente en las diferentes formulaciones cerveza.

Proporción	Extracto en 100g de solución (g)
80-20 %	6.176
85-15 %	6.372
90-10 %	6.176

Como puede observarse, los extractos son algo altos, a pesar de ser aparentes. Ya que el extracto real es aún mayor. Según Swistowicz., en “*The practical Brewer*”

(1977) cuando un extracto aparente es mayor al deseado se puede deber a 3 situaciones. A) fermentación inhibida antes de llegar a su término. B) mayor cantidad de azúcares no fermentables generados durante la maceración debido a temperaturas altas no óptimas para las enzimas amilolíticas. C) el tiempo de reposo en la etapa de sacarificación del almidón fue muy breve. Sin embargo, este extracto aparentemente alto, fue planificado para el cuerpo y dulzor de la cerveza. Como se puede observar en la Figura 10 y 11 la curva (rampas de temperatura y tiempos de reposo) de maceración de la malta y el almidón de yuca previamente dextrinado, fue llevado a una temperatura de 70 °C durante 60 min. A esta temperatura las β -amilasas tiene una acción mínima. Generando así una mayor cantidad de dextrinas de bajo peso molecular, las cuales no pueden ser metabolizadas por las levaduras. Conllevando a un mayor cuerpo y dulzor perfectamente balanceado con el amargor de lúpulo en la cerveza.

VII.1.8. Extracto de mosto original (EMO)

El extracto de mosto original o extracto primitivo es un conjunto de materiales cerveceros que son originados por adjuntos de cereales, o en este caso en particular un adjunto no convencional que es originado de un tubérculo, la yuca, además de la malta. Este análisis nos da una pauta para poder clasificar la cerveza en cerveza liviana, cerveza común, cerveza extra y cerveza fuerte. A continuación, en la Tabla 11 se muestran los distintos porcentajes de extracto primitivo o extracto de mosto original.

Tabla 11. Porcentaje de extracto primitivo o extracto de mosto original en las diferentes formulaciones de cerveza.

Proporción	Porcentaje (%)
80-20 %	16.68
85-15 %	15.97
90-10 %	16.37

Según el reglamento técnico MERCOSUR/GMC/RESOLUCIÓN N°14/01. Clasifica a las cervezas con un mayor contenido del 14 % de extracto de mosto original, como cervezas fuertes. Dado que es una cerveza artesanal, ésta tiene un mayor contenido alcohólico y mayor cuerpo al paladar, así como ligero dulzor perfectamente balanceado con el amargor del lúpulo, en comparación de una cerveza comercial.

VII.2. Evaluación sensorial.

La evaluación sensorial fue realizada a 20 panelistas, a los cuales fueron presentadas las 3 muestras codificadas con números aleatorios a un mismo tiempo sin orden, para su evaluación. Con el propósito de que el panelista degustara cada muestra y reordenara las muestras con base a su agrado por cada muestra codificada, en una forma ascendente. Siendo las muestras codificadas con los números 689 (formulación 15 % de almidón de yuca) y 524 (formulación 20 % almidón de yuca) las más significativas como puede notarse en la Tabla 12. De acuerdo a la tabla del apéndice C se encuentran valores N1-N2 y N3-N4, siendo 32-48 para un tratamiento de 3 muestras con 20 panelistas y con un nivel de significancia de 5 %. Solo se toman los valores superiores izquierdo (N1) y superior derecho (N2), ya que los valores inferiores izquierdo (N3) e inferior derecho (N4) son empleados cuando el ordenamiento se hace con respecto a un estándar de comparación (Catania, C., y Avagnina, 2007). Esto nos indica que números por debajo de 32 son significativos, al igual que números superiores a 48. Así

obtenemos 3 niveles de aceptación. El tratamiento que se encuentra por debajo de 32 es significativo y con mayor aceptación, el tratamiento que se encuentra comprendido entre 32-48 no es significativo y tiene una aceptación media, y el tratamiento que se encuentra por arriba de 48 es significativo, pero con una baja aceptación. Los resultados obtenidos indican que la muestra con mayor aceptación en base a la preferencia de consumidores de cerveza artesanal es la muestra 689 con el porcentaje de 15 % de almidón de yuca. Se obtuvo en la tabulación un total de 28, estando por debajo de $N_1=32$; la muestra con menor aceptación fue la muestra 524 con el porcentaje de 20 % de almidón de yuca estando por encima de $N_2=48$. Por lo consiguiente la cerveza con 15 % de almidón de yuca es la más preferida entre los consumidores de cerveza artesanal. No obstante, Carvajal e Insuasti, (2010) reportaron una aceptación en el sabor para un tratamiento elaborado con un 85 % de cerveza de malta de cebada y 15 % de cerveza de yuca, similar al realizado en esta investigación. Contrastando así el resultado de la evaluación sensorial realizado en esta investigación.

Tabla 12. Tabulación de los datos obtenidos en la prueba de ordenamiento para la evaluación sensorial de los distintos porcentajes de cerveza con almidón de yuca.

Panelistas	Muestras		
	524(20% A.Y.)	689(15% A.Y.)	785(10% A.Y.)
1	3	1	2
2	3	1	2
3	2	1	3
4	1	2	3
5	2	1	3
6	3	1	2
7	3	1	2
8	3	2	1
9	2	3	1
10	3	1	2
11	3	1	2
12	3	1	2
13	2	3	1
14	1	2	3
15	3	1	2
16	2	1	3
17	3	1	2
18	3	1	2
19	3	2	1
20	3	1	2
Total	51	28	41

VIII.-CONCLUSIONES

De acuerdo a la investigación realizada, se puede aseverar que existe un efecto satisfactorio en la sustitución parcial de malta de cebada por almidón de yuca como un adjunto no convencional. Esta aseveración está fundamentada en los distintos análisis fisicoquímicos realizados, así como una evaluación sensorial llevada a cabo a cada una de las 3 diferentes formulaciones de cerveza de malta de cebada, con una sustitución parcial de almidón de yuca.

Sin embargo, el punto central de esta investigación fue la obtención de un nuevo estilo de cerveza a partir del uso de almidón de yuca como adjunto no convencional. Puesto que no existe una cerveza con tales características en el mercado local y nacional. De acuerdo a la evaluación sensorial, la cerveza con la mejor aceptación fue la cerveza elaborada con 15 % de almidón de yuca. No obstante, este tratamiento de sustitución parcial de almidón de yuca por malta de cebada, cumple con los estándares de calidad que conlleva una cerveza, en base a los análisis fisicoquímicos realizados a todos los tratamientos. Por consiguiente, podemos concluir que los objetivos fueron alcanzados, y se sugiere tal tratamiento para una aplicación a nivel micro-cervecerero e industrial.

IX.-PERSPECTIVAS

- Para un mayor conocimiento acerca del grado fermentativo del adjunto, en este caso el almidón de yuca previamente gelatinizado, dextrinado y sacarificado. Sería necesario realizar cinéticas de fermentación en combinación con la malta de cebada y por separado, adicionando enzimas amilolíticas a este último caso para la sacarificación del almidón y su posterior fermentación.

- El rendimiento del almidón de yuca fue analizado, no obstante, sería necesario llevar a cabo una investigación exhaustiva sobre la yuca, con el objetivo de observar el estado de madurez más viable para la obtención del almidón de yuca, así como la variedad más óptima para obtener un mayor rendimiento. Aunado a la caracterización del almidón obtenido en cada una de las variedades de yuca. Evidentemente esta información ampliaría el panorama para utilizar la variedad con mayor rendimiento y en el estado de madurez óptimo para la utilización del almidón y así obtener una degradación efectiva del almidón de yuca por parte de las enzimas amilolíticas.

X.-BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, P. & Villalobos, D. (2013). Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampi: propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria. *Tecnología en Marcha*, 26(1), 37-45.
- Altagracia-Martínez, M., Córdova-Moreno, R., Flores-Hernández, R., Godínez-García, I.H., López-Naranjo, F., (2013). La calidad de varias bebidas alcohólicas comercializadas en México y las consecuencias potenciales en la salud pública. *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*, Vol.44 (4).p
- Angulló-García, V. (2015). *Efecto de la maceración escalonada y de la temperatura de fermentación en las propiedades funcionales de la cerveza* (Tesis de pregrado). Universidad miguel Hernández. ELche, Provincia de Alicante, Comunidad de valencia, España.
- Anzaldúa-Morales, A., (2005), *Le evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. Zaragoza, España. Editorial Acribia.
- AOAC. Official Methods of Analysis Association of Official analytical, C.William Horwitz; 2005 AOAC International.
- Asociación de maestros cerveceros de las Américas (Hardwick, W.A., Bernstein, L., Adamic, E.B., Bradee, L. H., Dougherty, J.J., Meilgaard M., Hudston, H.R., Grant H.L., Strauss K.M., Knudsen, F.B., Piesley, J.G., Lom, T., Coors, J.H., DeYoung,

- R.E., Babcock, D.R., Holmer, C.F., Compton, J., Dakin, P.E., Swistowicz, W., Eiker, J., Schoenherr, W., Hahn, C.W., Schoof, R.F.), (1977), *The practical Brewer*. Madison, Wisconsin, E.U.A. Editorial Impressions, Inc.
- Avagnina, S., y Catania, C., (2007). *Curso Superior de Degustación de Vinos*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. E.E.A. Mendoza
- Badui-Dergal, S., (2006), *Química de los alimentos*. Mexico, Edo. De México. Editorial Pearson Educación.
- BBC Mundo. (2017). La razón por la que el consumo de cerveza bajó en el mundo. *BBC Mundo*. <http://www.bbc.com/mundo/noticias-40159409>
- Briggs, D.E., Hough, J.S., Stevens, R., Young, T.W., (1981), *Malting and Brewing science: Volumen I Malt and Sweet Wort*. Londres, Inglaterra. Editorial Chapman & Hall.
- Briggs, D.E., Hough, J.S., Stevens, R., Young, T.W., (1999), *Malting and Brewing science: Volumen II Hopped Wort and Beer*, Gaithersburg, Maryland. Editorial Aspen publishers, Inc.
- Buckee, G. K., Y Mundy, A. P., (1993). Determination of ethanol in beer by gas chromatography (Direct injection). *Journal of the Institute of Brewing*, Vol. 99, 381-384.
- Cantero (2014). Proceso de elaboración de cerveza artesanal. Recuperado de: <http://manosartesanasmurcia.org/wp-content/uploads/2014/11/Proceso-de-eleboración.pdf>
- Carvajal-Martínez, L.D., Insuasti-Andrade, M.A. (2010). *Elaboración de cerveza artesanal utilizando cebada (*Hordeum vulgare*) y yuca (*Manihot Esculenta Crantz*)* (Tesis de pregrado). Universidad técnica del norte, San Miguel de Ibarra, Imbabura, Ecuador.
- Cruz-Ruiz K.A. (2012). *Modelado del proceso de hidrólisis enzimática de almidones gelatinizados del fruto de la planta de banano* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Dendy, D.A.V., Y Dobraszczyk, B.J., (2001), *Cereales y productos derivados: Química y tecnología*, Zaragoza-España. Editorial Acribia.

- F.A.O. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2007), *Boletín de servicios agrícolas de la FAO 163: Guía técnica para producción y análisis de almidón de Yuca*.
- F.A.O (Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación). (1991), *Raíces, tubérculos, plátanos, y bananas en la nutrición humana, colección FAO: Alimentación y nutrición, (24): 196 p.*
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization), (2009). © FAO Statistics Division.
- Flores-Gorosquera, E., García-Suárez, F. J., Flores-Huicochea, E., Nuñez-Santiago, M. C., González-Soto, R. A., y Bello-Pérez, L. A. (2004). *Rendimiento del proceso de extracción de almidón de frutos de plátano (Musa paradisiaca). Estudio en planta piloto. Acta Cient. Venez. 55: 86-90.*
- Hernández, R.M. Y Sastre, G.A., (1999), *Tratado de Nutrición*, España. Editorial Díaz de Santos.
- Holle, S.A., Asociación de maestros cerveceros de las Américas., (2003), *handbook basic brewing calculations*. Minnesota, USA.
- Kramer, A. (1963). *Revised Tables for Determining Significance of Differences. Food Technologie. 17:1596-1597.*
- Kunze, W., (2006), *Tecnología para Cerveceros y Malteros*. Berlín, Alemania. Editorial VLB Berlín.
- López, A., García, G.M., Quintero, R.R., López-Munguía A., Canales, I., (2002), *Biotechnología alimentaria*, México. Editorial Limusa.
- Montor-Antonio, J.J. (2013). *Caracterización de amilasas producidas por bacterias de suelos cultivados con caña de azúcar (Tesis de pregrado)*. Universidad del Papaloapan, San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, México.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., Parker J., Brock, T.D., Rodríguez Fernández, C., Sánchez Pérez, M., (2004), *Brock Biología de los microorganismos*, México. Editorial Pearson Educación.
- Mathews, C.K., Van Holde, K.E., Ahern, K.G., (2002), *Bioquímica*, Madrid España. Editorial Pearson Educación.
- MERCOSUR/GMC/RESOLUCIÓN N°14/01 de productos de cervecería.

- Mpoko Bokanga (1999). CASSAVA: Post-harvest Operations. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Nibem, (1973). *European Brewery Convention*. Congreso de Salzburgo. Austria. 363 - 371p
- NOM-142-SSA1-1995. Bienes y servicios. Bebidas alcohólicas. Especificaciones sanitarias. Etiquetado sanitario y comercial.
- NMX-F-312-1978. Determinación de reductores directos y totales en alimentos
- Peña-Piza, A. (2009). *Hidrolisis de almidón de yuca mediante la utilización de preparaciones solubles e insolubles de Alfa-amilasa* (Tesis de pregrado). Universidad industrial de Santander, Bucaramanga, Santander, Colombia.
- Pérez-Valenzuela, G. (2015). Red Yuca: Uso y producción nacional. Coyoacán, CDMX.: Servicio Nacional de inspección y certificación de semillas. http://snics.sagarpa.gob.mx/rfaa/Paginas/Impulso/Yuca/Usos_Produccion_Nacional.aspx.
- Pontes, H., Guedes de Pinho, P., Casal, S., Carmo, H., Santos, A., Magalhães, T., Remião, F., Carvalho, F. y Bastos, M.L. (2004). GC Determination of Acetone, Acetaldehyde, Ethanol, and Methanol in Biological Matrices and Cell Culture. *Journal of Chromatographic Science*, Vol. 47, April 2009.
- Reyna, M.L., Robles, R., Reyes, P.M., Mendoza, R.Y. y Romero, J.D. (2004). Hidrólisis enzimática del almidón. *Revista peruana de química e ingeniería química*, Vol. 7(1), 40-44.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación).
- Saison, D., Schutter, D.P., Delvaux, F., Delvaux, F.R. (2009). Determination of carbonyl compounds in beer by derivatisation and headspace solid-phase microextraction in combination with gas chromatography and mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1216 (2009) 5061–5068.
- Schmidt-Hebbel, H. (1966), *Química y tecnología de los alimentos*. Editorial Salesiana. Santiago. 313 p.
- Secretaría de economía. (2015). Industria de la cerveza en México. México: *gob.mx*. Extraído de <http://www.gob.mx/se/articulos/industria-de-la-cerveza-en-mexico>.

- Serna, S.R.O., (1996), *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales*, México. Editorial A.G.T.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2009).
- Sidel, J., & Stone, H., (1985), *Sensory Evaluation Practices*. New York, USA. Editorial Academic Press.
- SUNTRUP, F. (1980). *Consideraciones e investigaciones en relación con la espuma de la cerveza*. Asociación Latinoamericana de Fabricantes de Cerveza. Oficina Permanente de Coordinación. Serie Técnica. Doc 3229. 53 - 76 p.
- Varnan, A.H. y Sutherland, J.P., (1997), *Bebidas: Tecnología, Química y Microbiología*, España. Editorial Acribia.
- Vázquez, H.J., Dacosta, O. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, VIII (4), 249-259
- Vihem, M. y Mantsala, P., (1989). Microbial amylolytic enzymes. *Biotech. Lab.* 24:329-418.
- www.genome.jp/dbget-bin/get_htext?ECtable

ANEXO
Apéndice A

°C	°F	Presión (Psig)																								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
-1	30	1.80	1.91	2.02	2.14	2.25	2.37	2.48	2.60	2.71	2.83	2.94	3.05	3.17	3.28	3.40	3.51	3.63	3.74	3.85	3.97	4.08	4.20	4.31	4.43	4.54
-1	31	1.75	1.87	1.98	2.09	2.2	2.31	2.43	2.54	2.65	2.76	2.87	2.98	3.1	3.21	3.32	3.43	3.54	3.65	3.77	3.88	3.99	4.1	4.21	4.32	4.44
0	32	1.71	1.82	1.93	2.04	2.15	2.26	2.37	2.48	2.59	2.7	2.81	2.92	3.03	3.14	3.24	3.35	3.46	3.57	3.68	3.79	3.9	4.01	4.12	4.23	4.34
1	33	1.68	1.78	1.89	2	2.1	2.21	2.32	2.43	2.53	2.64	2.75	2.85	2.96	3.07	3.17	3.28	3.39	3.49	3.6	3.71	3.81	3.92	4.03	4.13	4.24
1	34	1.64	1.75	1.85	1.95	2.06	2.16	2.27	2.37	2.48	2.58	2.69	2.79	2.9	3	3.1	3.21	3.31	3.42	3.52	3.63	3.73	3.84	3.94	4.05	4.15
2	35	1.61	1.71	1.81	1.91	2.02	2.12	2.22	2.32	2.43	2.53	2.63	2.73	2.83	2.94	3.04	3.14	3.24	3.35	3.45	3.55	3.65	3.76	3.86	3.96	4.06
2	36	1.57	1.67	1.77	1.87	1.97	2.07	2.17	2.27	2.37	2.48	2.58	2.68	2.78	2.88	2.98	3.08	3.18	3.28	3.38	3.48	3.58	3.68	3.78	3.88	3.98
3	37	1.54	1.64	1.74	1.84	1.93	2.03	2.13	2.23	2.33	2.43	2.52	2.62	2.72	2.82	2.92	3.01	3.11	3.21	3.31	3.41	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9
3	38	1.51	1.61	1.7	1.8	1.9	1.99	2.09	2.18	2.28	2.38	2.47	2.57	2.67	2.76	2.86	2.95	3.05	3.15	3.24	3.34	3.44	3.53	3.63	3.72	3.82
4	39	1.48	1.58	1.67	1.76	1.86	1.95	2.05	2.14	2.24	2.33	2.43	2.52	2.61	2.71	2.8	2.9	2.99	3.09	3.18	3.27	3.37	3.46	3.56	3.65	3.75
4	40	1.45	1.55	1.64	1.73	1.82	1.92	2.01	2.1	2.19	2.29	2.38	2.47	2.56	2.66	2.75	2.84	2.93	3.03	3.12	3.21	3.3	3.4	3.49	3.58	3.67
5	41	1.43	1.52	1.61	1.7	1.79	1.88	1.97	2.06	2.15	2.24	2.33	2.43	2.52	2.61	2.7	2.79	2.88	2.97	3.06	3.15	3.24	3.33	3.42	3.51	3.61
6	42	1.4	1.49	1.58	1.67	1.76	1.85	1.93	2.02	2.11	2.2	2.29	2.38	2.47	2.56	2.65	2.74	2.83	2.92	3	3.09	3.18	3.27	3.36	3.45	3.54
6	43	1.37	1.46	1.55	1.64	1.72	1.81	1.9	1.99	2.07	2.16	2.25	2.34	2.43	2.51	2.6	2.69	2.78	2.86	2.95	3.04	3.13	3.21	3.3	3.39	3.48
7	44	1.35	1.44	1.52	1.61	1.69	1.78	1.87	1.95	2.04	2.12	2.21	2.3	2.38	2.47	2.55	2.64	2.73	2.81	2.9	2.98	3.07	3.16	3.24	3.33	3.41
7	45	1.33	1.41	1.5	1.58	1.66	1.75	1.83	1.92	2	2.09	2.17	2.26	2.34	2.43	2.51	2.59	2.68	2.76	2.85	2.93	3.02	3.1	3.19	3.27	3.35
8	46	1.3	1.39	1.47	1.55	1.64	1.72	1.8	1.89	1.97	2.05	2.13	2.22	2.3	2.38	2.47	2.55	2.63	2.72	2.8	2.88	2.96	3.05	3.13	3.21	3.3
8	47	1.28	1.36	1.45	1.53	1.61	1.69	1.77	1.85	1.94	2.02	2.1	2.18	2.26	2.34	2.43	2.51	2.59	2.67	2.75	2.83	2.91	3	3.08	3.16	3.24
9	48	1.26	1.34	1.42	1.5	1.58	1.66	1.74	1.82	1.9	1.98	2.06	2.14	2.22	2.3	2.38	2.47	2.55	2.63	2.71	2.79	2.87	2.95	3.03	3.11	3.19
9	49	1.24	1.32	1.4	1.48	1.56	1.64	1.71	1.79	1.87	1.95	2.03	2.11	2.19	2.27	2.35	2.43	2.5	2.58	2.66	2.74	2.82	2.9	2.98	3.06	3.14
10	50	1.22	1.3	1.38	1.45	1.53	1.61	1.69	1.76	1.84	1.92	2	2.08	2.15	2.23	2.31	2.39	2.46	2.54	2.62	2.7	2.77	2.85	2.93	3.01	3.09

Apéndice B

Gravedad específica a 20/20°	g de extracto en 100 g de sol	Gravedad específica a 20/20°	g de extracto en 100 g de sol	Gravedad específica a 20/20°	g de extracto en 100 g de sol
1.00000	0.000	1.00600	1.539	1.01200	3.067
5	13	5	52	5	80
10	26	10	65	10	93
15	39	15	78	15	0.105
20	52	20	90	20	18
25	64	25	0.603	25	31
30	77	30	16	30	43
35	90	35	29	35	56
40	0.103	40	41	40	69
45	16	45	54	45	81
1.00050	29	1.00650	67	1.01250	94
55	41	55	80	55	0.207
60	54	60	93	60	19
65	67	65	0.705	65	32
70	80	70	18	70	45
75	93	75	31	75	57
80	0.206	80	44	80	70
85	19	85	57	85	82
90	31	90	69	90	95
95	44	95	82	95	0.308
1.00100	57	1.00700	95	1.01300	21
5	70	5	0.807	5	33
10	83	10	20	10	46
15	96	15	33	15	58

20	0.309	20	46	20	71
25	21	25	59	25	84
30	34	30	72	30	96
35	47	35	84	35	0.409
40	60	40	97	40	21
45	73	45	0.910	45	34
1.00150	86	1.00750	23	1.01350	47
55	98	55	35	55	59
60	0.411	60	48	60	72
65	24	65	61	65	85
70	37	70	73	70	97
75	50	75	86	75	0.510
80	63	80	99	80	23
85	76	85	2.012	85	35
90	88	90	25	90	48
95	0.501	95	38	95	61
1.00200	14	1.00800	53	1.01400	73
5	27	5	65	5	86
10	40	10	78	10	98
15	52	15	91	15	0.611
20	65	20	0.101	20	24
25	78	25	14	25	36
30	91	30	27	30	49
35	0.604	35	39	35	62
40	16	40	52	40	74
45	29	45	65	45	87
1.00250	42	1.00850	78	1.01450	99
55	55	55	91	55	0.712

60	68	60	0.203	60	25
65	80	65	16	65	37
70	93	70	29	70	50
75	0.706	75	41	75	62
80	19	80	54	80	75
85	32	85	67	85	88
90	45	90	80	90	0.8
95	57	95	0.292	95	13
1.00300	0.77	1.00900	2.305	1.01500	3.826
5	83	5	17	5	38
10	96	10	30	10	51
15	0.808	15	43	15	63
20	21	20	56	20	76
25	34	25	69	25	88
30	47	30	81	30	0.901
35	59	35	94	35	14
40	72	40	0.407	40	26
45	85	45	19	45	39
1.00350	98	1.00950	32	1.01550	51
55	0.911	55	45	55	64
60	24	60	58	60	77
65	37	65	70	65	89
70	49	70	83	70	4.002
75	62	75	96	75	14
80	75	80	0.508	80	27
85	88	85	21	85	39
90	1.001	90	34	90	52
95	14	95	47	95	65

1.00400	26	1.01000	60	1.01600	77
5	39	5	72	5	90
10	52	10	85	10	0.102
15	65	15	98	15	15
20	78	20	0.610	20	28
25	90	25	23	25	40
30	0.103	30	36	30	53
35	16	35	49	35	65
40	29	40	61	40	78
45	42	45	74	45	90
1.00450	55	1.01050	87	1.01650	0.203
55	68	55	99	55	16
60	80	60	0.712	60	28
65	93	65	25	65	41
70	0.206	70	38	70	53
75	19	75	50	75	66
80	32	80	63	80	78
85	44	85	76	85	91
90	57	90	78	90	0.304
95	70	95	0.801	95	16
1.00500	83	1.01100	14	1.01700	29
5	96	5	26	5	41
10	0.308	10	39	10	54
15	21	15	52	15	66
20	34	20	64	20	79
25	47	25	77	25	91
30	60	30	90	30	0.404
35	72	35	0.903	35	17

40	85	40	15	40	29
45	98	45	28	45	42
1.00550	0.411	1.01150	40	1.01750	54
55	24	55	53	55	67
60	37	60	66	60	79
65	50	65	79	65	92
70	62	70	91	70	0.505
75	75	75	3.004	75	17
80	88	80	17	80	29
85	0.501	85	29	85	42
90	14	90	42	90	55
95	26	95	55	95	67
1.01800	4.580	1.01900	30	1.02000	5.08
5	92	5	43	1.03000	7.558
10	0.605	10	55	1.04000	9.993
15	17	15	68	1.05000	12.387
20	30	20	80	1.06000	14.741
25	42	25	93	1.06980	17.009
30	55	30	0.905	1.06995	17.043
35	68	35			
40	80	40	30		
45	92	45	43		
1.01850	0.705	1.01950	55		
55	18	55	68		
60	30	60	80		
65	43	65	93		
70	55	70	5.006		
75	68	75	18		

Apéndice C

Tabla de los rangos (Kramer 1963). Ranking requerido para establecer significación al 5% ($p \leq 0.05$).									
Número de tratamientos o productos									
Número de repeticiones	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2				-	-	-	-	-	-
				3-0	3-11	3-13	4-1	4-16	4-18
3	-	-	-	4-14	4-17	4-20	4-23	5-25	5-28
	-	4-8	4-11	5-13	6-15	6-18	7-20	8-22	8-25
4	-	5-11	5-15	6-18	6-22	7-25	7-29	8-32	8-36
	-	5-11	6-14	7-17	8-20	9-23	10-26	11-29	13-21
5	-	6-14	7-18	8-22	9-26	9-31	10-35	11-39	12-43
	6-9	7-13	8-17	10-20	11-24	13-27	14-31	15-35	17-38
6	7-11	8-16	9-21	10-26	11-31	12-36	13-41	14-46	15-51
	7-11	9-15	11-19	12-24	14-28	16-32	18-36	20-40	21-45
7	8-13	10-18	11-24	12-30	14-35	15-41	17-46	18-52	19-58
	8-13	10-18	13-22	15-27	17-32	19-37	22-41	24-46	26-51
8	9-15	11-21	13-27	15-33	17-39	18-46	20-52	22-58	24-64
	10-14	12-20	15-25	17-31	20-36	23-41	25-47	28-52	31-57
9	11-16	13-23	15-30	17-37	19-44	22-50	24-57	26-64	28-71
	11-16	14-22	17-28	20-34	23-40	26-46	29-52	32-58	35-64
10	12-18	15-25	17-33	20-40	22-48	25-55	27-63	30-70	32-78
	12-18	16-24	19-31	23-37	26-44	30-50	34-56	37-63	40-70
11	13-20	16-28	19-36	22-44	25-52	28-60	31-68	34-76	36-85
	1-19	18-26	21-34	25-41	29-48	33-55	37-62	41-69	45-76

12	15-21	18-30	21-39	25-47	28-56	31-65	34-74	38-82	41-91
	15-21	19-29	24-36	28-44	32-52	37-59	41-67	45-75	50-82
13	16-23	20-32	24-41	27-51	31-60	35-69	38-79	42-88	45-98
	17-22	21-31	26-39	31-47	35-56	40-64	45-72	50-80	54-89
14	17-25	22-34	26-44	30-54	34-64	38-74	44-84	46-94	50-104
	18-24	23-35	28-42	33-51	38-60	44-68	49-77	54-86	59-95
15	19-26	23-37	28-47	32-58	37-68	41-79	46-89	50-100	54-111
	19-26	25-35	30-45	36-54	42-63	47-73	53-82	59-91	64-101
16	20-28	25-39	30-50	35-61	40-72	45-83	49-95	54-106	59-117
	21-27	27-37	33-47	39-57	45-67	51-77	57-87	62-98	69-107
17	22-29	27-41	32-53	38-64	43-76	48-88	53-100	58-112	63-124
	22-29	28-40	35-50	41-61	48-71	54-82	61-92	67-103	74-113
18	23-31	29-43	34-56	40-68	46-80	52-92	57-105	61-118	68-130
	24-30	30-42	37-53	44-64	51-75	58-86	65-97	72-108	79-119
19	24-33	30-46	37-58	43-71	49-84	55-97	61-110	67-123	73-136
	25-32	32-44	39-56	47-67	54-79	62-90	69-102	76-114	84-125
20	26-34	32-48	39-61	45-95	52-88	58-102	65-115	71-129	77-143
	26-34	34-46	42-58	50-70	57-83	65-95	73-107	81-119	89-131

