



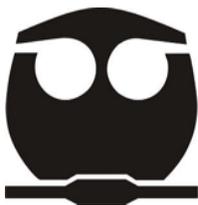
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“ELABORACIÓN DE UNA BEBIDA FERMENTADA
A BASE DE MALTA (*Hordeum vulgare*) Y
AMARANTO (*Amaranthus spp.*)”**

**TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICO DE ALIMENTOS**

**PRESENTA:
DANIELA PÉREZ GUTIÉRREZ**



México, D.F

2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JUARADO ASIGNADO

PRESIDENTE: Profesora: Olga del Carmen Velázquez Madrazo

VOCAL: Profesor: Juan Diego Ortiz Palma Pérez

SECRETARIO: Profesor: Agustín Reyo Herrera

1er. SUPLENTE: Profesor: Karla Mercedes Díaz Gutiérrez

2do. SUPLENTE: Profesora: Esmeralda Paz Lemus

SITIO DÓNDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, Departamento de Alimentos y Biotecnología, Laboratorio 4-A. Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, México, D.F.

Q.F.B Agustín Reyo Herrera

Asesor

Daniela Pérez Gutiérrez

Sustentante

ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN RECIBIÓ EL APOYO DE PAPIME

PE200912: “Desarrollo y caracterización de cervezas tipo artesanal utilizando como adjuntos productos de origen endémico mexicano y otros subproductos de la industria alimentaria como suero de leche”

ÍNDICE

A. INDICE DE FIGURAS.....	1
B. INDICE DE TABLAS.....	3
1. RESUMEN.....	4
2. INTRODUCCIÓN.....	5
2.1 La Fermentación y su Relación con los Cereales y la Cerveza.....	5
3. ANTECEDENTES.....	12
3.1 Alimentos y Bebidas Fermentadas.....	12
3.2 Antecedentes históricos.....	14
3.3 Bebidas Alcohólicas Fermentadas.....	16
3.3.1 Aspectos nutrimentales.....	19
3.3.2 Cerveza.....	20
3.3.2.1 Definición.....	20
3.3.2.2 Clasificación.....	20
3.3.2.3 Producción.....	22
3.4 Bebidas mexicanas fermentadas.....	23
3.5 Cebada y Malta.....	28
3.5.1 Composición química de la cebada y malta.....	30
3.5.2 Distribución y Producción.....	34
3.5.3 Usos y aplicaciones.....	35
3.6 Amaranto.....	36
3.6.1 Composición química del amaranto.....	38
3.6.2 Distribución y producción.....	41
3.6.3 Usos y aplicaciones.....	44

4. HIPÓTESIS	47
5. OBJETIVOS	47
5.1 Objetivo general	47
5.2 Objetivo particular.....	47
6. DIAGRAMA	48
7. METODOLOGÍA	49
7.1 Determinación de azúcares reductores por el método del ácido 3,5 dinitro salicílico (DNS).....	49
7.2 Concentración de sólidos solubles totales (%SST).....	50
7.3 Determinación de etanol por Cromatografía de Gases (GC).....	51
7.4 Determinación de Hierro.....	52
7.5 Determinación de aminoácidos libres.....	54
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
8.1 Determinación de azúcares reductores y sólidos solubles totales.....	54
8.2 Determinación de Etanol por Cromatografía de gases (CG).....	59
8.3 Determinación de la concentración de Hierro.....	64
8.4 Determinación de Aminoácidos libres en cerveza por espectrofotometría.....	67
8.5 Análisis sensorial	68
9. CONCLUSIONES	71
10. PERSPECTIVAS	72
11. ANEXO	73
12. BIBLIOGRAFÍA	74

A. INDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Sello de 6000 mil años de antigüedad que representa dos personas bebiendo cerveza o una bebida que se elabora igual.
- Figura 2. Bebiendo cerveza en la época de la civilización babilónica (2,400 a. C)
- Figura 3. Vía glicolítica de (*Embden-Meyerhof-Parnas*) para el metabolismo de la glucosa
- Figura 4. Sacarificación del almidón.
- Figura 5. Cebada de 6 y 2 carreras.
- Figura 6. Grano de cebada.
- Figura 7. Diferentes tipos de malta: Malta Chocolate, malta Múnich y Malta Pálida o Pilsen
- Figura 8. Distribución de la Cebada en México de 1 mill ton/año
- Figura 9. Comportamiento del consumo de cebada en México.
- Figura 10. Planta de amaranto.
- Figura 11. Semilla de amaranto.
- Figura 12. Corte transversal y longitudinal de la semilla de amaranto.
- Figura 13. Grafica de principales productores de amaranto en 2011.
- Figura 14. Grafica de principales productores de amaranto en el D.F.
- Figura 15. Costo por tonelada de amaranto en pesos mexicanos.
- Figura 16. Reacción de DNS.
- Figura 17. Refractómetro de campo *Atago™ Hand Refractometer N-1E Brix*.
- Figura 18. Escala para medir %SST y °Brix.
- Figura 19. Cromatógrafo de Gases Perkin-Elmer *Auto System*.
- Figura 20. Estructura química de la ferroína.
- Figura 21. Curva de calibración de maltosa.
- Figura 22. Gráfica del comportamiento de sólidos solubles totales.
- Figura 23. Gráfica del comportamiento de azúcares reductores.
- Figura 24. Cromatograma curva de calibración 10% etanol.
- Figura 25. Curva de calibración para determinación de etanol.
- Figura 26. Cromatograma para la bebida de 5% amaranto.

Figura 27. Curva de calibración promedio de hierro.

Figura 28. Concentración de Fe en bebidas de amaranto.

Figura 29. Cámara de *Neubauer*.

B. ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Lista de algunos alimentos fermentados en los años 50.
- Tabla 2. Características de la fermentación de cervezas lager y ale.
- Tabla 3. Clasificación primaria de la cerveza.
- Tabla 4. Producción de cerveza por país.
- Tabla 5. Bebidas fermentadas originarias de México.
- Tabla 6. Análisis proximal del grano de cebada.
- Tabla 7. Componentes del grano de cebada.
- Tabla 8. Contenido de aminoácidos en cebada maltera .
- Tabla 9. Contenido de vitaminas y minerales en cebada maltera.
- Tabla 10. Proceso de malteado de la cebada.
- Tabla 11. Diferencias en composición entre cebada y malta.
- Tabla 12. Análisis proximal de la semilla de amaranto.
- Tabla 13. Composición de amino ácidos de *A. hypochondriacus*.
- Tabla 14. Vitaminas y minerales presentes en semilla de amaranto.
- Tabla 15. Principales productores de amaranto en los últimos diez años.
- Tabla 16. Características cromatográficas.
- Tabla 17. Datos para la curva de calibración de azúcares reductores por DNS.
- Tabla 18. Formulación de cerveza 100% de malta.
- Tabla 19. Datos obtenidos de la cerveza 100% de malta.
- Tabla 20. Datos para curva de calibración de etanol.
- Tabla 21. Resultados de la determinación promedio de de etanol en bebida de amaranto.
- Tabla 22. Rendimiento de la fermentación.
- Tabla 23. Datos obtenidos para la curva de calibración de hierro
- Tabla 24. Concentración de Fe para cada formulación.
- Tabla 25. Contenido de Aminoácidos libres en cerveza de amaranto.
- Tabla 26. Escala para atributos sensoriales.
- Tabla 27. Resultados sensoriales para cerveza de amaranto.

1. RESUMEN

Se elaboró una bebida fermentada a base de malta (*Hordeum vulgare*) y semilla de amaranto (*Amaranthus hypocondriacus*) sin reventar con el propósito de presentar a los consumidores un producto en el cual se manifiesten las propiedades nutrimentales de ambos productos mediante el desarrollo de formulaciones.

Al elaborar una bebida donde se utilice la semilla de amaranto entera, la cual solo se consume de manera limitada, se establecerán las bases tecnológicas para el aprovechamiento de este pseudocereal y por *ende*, un nuevo canal de comercialización obteniéndose un impacto positivo en los sectores social, ambiental y económico.

Se espera generar un producto similar a la cerveza o una cerveza artesanal por lo que se sigue el mismo proceso de elaboración de éstas, sólo que añadiendo el amaranto como adjunto cervecero. Es por ello que en este trabajo se habla ampliamente de la cerveza y su proceso de elaboración ya que servirá para comparar los productos generados.

Cabe destacar que hasta el momento no se cuenta con registro alguno sobre la producción de una bebida fermentada que reúna las características que se pretenden, por lo que el resultado del desarrollo tecnológico representa como se mencionó, una alternativa al consumidor ampliando al mismo tiempo su espectro de elección.

Para el desarrollo del producto se establecerán las condiciones de operación del proceso como temperaturas, tiempo de sacarificación, maduración, análisis fisicoquímico y análisis sensorial de los productos terminados.

2. INTRODUCCIÓN

La Biotecnología comprende una amplia variedad de técnicas que utilizan sistemas biológicos, organismos vivos o sus componentes, para la obtención de productos y servicios para usos específicos.

Históricamente la Industria Alimentaria y de Bebidas es el sector donde se aplicaron los procesos biotecnológicos tradicionales. En efecto, en la producción y transformación de alimentos y bebidas, la Biotecnología tiene las aplicaciones más antiguas y este sector sigue siendo el mayor usuario de procesos biotecnológicos. El ejemplo evidente es la producción de cerveza, pan, yogurt, queso y vino componentes de la dieta en las civilizaciones ancestrales y actuales resultantes de procesos de fermentación por la acción de bacterias, hongos y levaduras. Aunque la Biotecnología se aplicaba por el hombre hace ya miles de años en la obtención de alimentos y bebidas, en aquella época no se conocían con certeza los microorganismos ni los procesos metabólicos que realizan. No fue sino hasta la segunda mitad del siglo XIX cuando Luis Pasteur demuestra que estos procesos son consecuencia de la actividad microbiana. Entonces, se incluye a los procesos de fermentación dentro de la Biotecnología tradicional. También se incluyen dentro de la denominación de Biotecnología tradicional otras técnicas como la selección artificial, los cruzamientos selectivos (hibridación) y la mutagénesis, que intervienen en los procesos productivos, y en la transformación genética de especies que se utilizan en la Industria Alimentaria.

2.1 La Fermentación y su relación con los cereales y la cerveza.

Existen evidencias arqueológicas y botánicas a partir de restos de semillas, prácticas y herramientas agrícolas que revelan habilidades rudimentarias en el arte de la fermentación microbiana en la Mesopotamia alrededor del año 6000 a.C. Figura 1. La preparación de comidas y bebidas alcohólicas tradicionales de los primeros pobladores de Asia, África y América Latina involucraba la utilización de un sustrato rico en almidón para la producción de azúcares fermentables por levaduras y bacterias.

Incluso, en tumbas de miembros de la corte del rey egipcio Nyuserre Ini (2453-2422 a.C.) se encontraron fórmulas para la producción de cerveza, descritas por el alquimista *Zosimus* en el siglo III d.C. Desde entonces hasta la actualidad, gran parte de la alimentación humana está relacionada con el proceso de fermentación microbiana. (Paéz, 2010)



Fig. 1 Sello de 6000 mil años de antigüedad que representa dos personas bebiendo cerveza o una bebida que se elabora igual. Imagen tomada de: Cerveza de Argentina, 2013

El proceso común que interviene en la elaboración de bebidas alcohólicas, es la fermentación que realizan los microorganismos presentes en la materia prima. En sentido biológico, la fermentación es un proceso de obtención de energía en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno) que puede generar productos finales como ácido láctico (fermentación láctica, por las bacterias ácido-lácticas) o etanol (fermentación alcohólica por levaduras u otros microorganismos).

Diagrama general fermentación láctica:



Diagrama general fermentación alcohólica:



En el contexto industrial, se denomina fermentación a un proceso microbiano a gran escala, tanto si se realiza en condiciones aeróbicas como anaeróbicas.

El uso de procesos biotecnológicos específicos permite evitar cierto tipo de desarrollo microbiano debido a los productos metabólicos de la fermentación como ácido láctico, ácido acético y etanol.

Existen evidencias de la producción de cerveza en el Valle del Nilo desde el año 4000 a.C. Esta cerveza primitiva se elaboraba con cereales germinados (malteados) con los cuales se preparaba una papilla adicionando agua, se permitía la sacarificación del almidón y posteriormente la fermentación. Resulta sorprendente como estos hombres de hace más de seis milenios, en forma empírica lograron desarrollar procesos en los cuales se promueve en los granos de cereales la síntesis enzimática. Durante la sacarificación se hidrolizan el almidón y otros biopolímeros en las sustancias adecuadas para la fermentación con la levadura. (Quorum Formación, 2013)

El manejo de enzimas y microorganismos se realizó en forma empírica durante casi 60 siglos, mejorando su utilización para depurar la producción de bebidas y alimentos fermentados infiriéndoles características propias y distintivas. Es así como la Biotecnología tradicional y la adopción de la agricultura fueron algunos de los acontecimientos que encaminaron a la humanidad hacia la modernidad.

La adopción de la agricultura empezó con la domesticación de los cereales ocurrido en Oriente Próximo hace más de 10 000 años. Por ello los humanos abandonaron el antiguo estilo de vida de los cazadores-recolectores de la Edad de Piedra. En su lugar comenzaron a practicar la agricultura asentándose en aldeas que con el tiempo crecieron para convertirse en las primeras ciudades del mundo.

Con la transición del estilo de vida a un modelo más sedentario, los humanos empezaron a confiar en una bebida derivada de la cebada y el trigo, cereales que fueron las primeras plantas que se cultivaron de manera deliberada. Esa bebida se volvió crucial para la vida social, religiosa y económica, convirtiéndose en uno de los sustentos básicos de las primeras civilizaciones. Se trata de la bebida que ayudó a la humanidad a dar los primeros pasos en el camino hacia el mundo moderno: la cerveza. (Standage, 2006)

Los granos ofrecían una fuente de alimento de escasa importancia pero fiable. Aunque crudos resultaban inadecuados para el consumo, se volvieron comestibles cuando los machacaron o aplastaron y luego se les sumergía en agua. Después observaron que cuando remojabán los cereales en agua caliente, estos absorbían la humedad y luego estallaban por lo que espesaba el líquido de manera considerable. Actualmente se sabe que éste fenómeno se debe a que los cereales contienen minúsculos granos de almidón. Se descubrió que los granos de cereal presentaban otra propiedad interesante: a diferencia de otros comestibles, podían almacenarse para su consumo durante meses o incluso años, siempre que se les mantuviera secos. (Standage, 2006)

Los cereales, que empezaron siendo productos alimenticios de escasa importancia, adquirieron una mayor relevancia a partir del descubrimiento de que poseían dos propiedades inusuales más. La primera era que el grano mojado en agua hasta que empieza a germinar sabía dulce. Era difícil conseguir pozos de almacenamiento perfectamente herméticos, de modo que esa propiedad debió de manifestarse en cuanto los humanos empezaron a almacenar cereales.

Hoy en día se conoce la causa de dicho sabor dulce: el grano mojado produce la enzima diastasa, que convierte el almidón en azúcar de maltosa o malta. El proceso ocurre naturalmente en todos los cereales, pero la cebada produce la mayor cantidad de diastasa y por ende de azúcar de maltosa.

En una época en que se disponía de pocas fuentes de azúcar, el sabor dulce de ese grano “malteado” habría sido muy apreciado, lo que provocó, el desarrollo de técnicas de malteado intencionado mediante las que el grano se remoja para luego secarlo. (Cerveza de Argentina, 2013)

El segundo hallazgo fue más trascendental. El caldo que no se consumía en unos cuantos días sufría una “misteriosa” transformación, en particular si se había elaborado con grano malteado: se volvía un poco efervescente y agradablemente embriagador, ya que la acción de las levaduras silvestres del ambiente fermentaba el azúcar del caldo convirtiéndolo en alcohol. El caldo, en una palabra, se volvía cerveza. (Standage, 2006)

Desde su aparición, la cerveza poseyó una importante función de bebida social, esto ayudó a que no cesara la producción de cebada, ya que sus cosechas eran abundantes y fáciles de almacenar Figura 2. Registros históricos procedentes de Egipto y Mesopotamia muestra que los cerveceros, además de malta y otros cereales, añadían por último, bayas, miel, especias, hierbas y otros condimentos al caldo, esto alteraba de diversos modos el sabor de la cerveza resultante. A partir de ahí, y durante miles de años, se descubrió cómo elaborar una gama de cervezas de diferente fuerza y sabor para distintas ocasiones. (Standage, 2006)



Fig. 2 Bebiendo cerveza en la época de la civilización babilónica (2,400 a. C)

Imagen tomada de: Hough, 1990

En la actualidad las cervezas son elaboradas por fermentación de la malta y algunas otras fuentes de carbohidratos llamados adjuntos que pueden ser granos no germinados molidos o enteros de maíz, arroz, sorgo, harina de papa y jarabes glucosados de maíz. La principal función de los materiales utilizados como adjuntos será proporcionar carbohidratos al mosto cervecero ayudando a disminuir los costos ya que son fuentes más baratas. (Quarin, 2011)

Aunque existen diversas definiciones de cerveza incluso por cada región del mundo, la legislación por país cambia, la definición en mayor medida aceptada se remonta a la “Ley de la Pureza” promulgada el 23 de abril 1516 en Bavaria (sur de Alemania) conocida como *Reinheitsgebot*. Mediante este decreto real se establece que la cerveza solamente se debía elaborar a partir de 3 ingredientes: agua, malta de

cebada y lúpulo. La ley no menciona la función de las levaduras que fue descubierta por Luis Pasteur como parte medular del proceso de fermentación de la cerveza. Antes de conocer el mecanismo de fermentación, los cerveceros usualmente tomaban el sedimento de una fermentación previa y lo agregaban a una nueva. Si no lo podían obtener, usualmente dejaban reposando una serie de vasijas y en el proceso aparecía "por sí sola" la levadura. (INDUCERV, 2009)

La principal motivación de esta ley se encontraba en que Guillermo IV de Baviera tenía el monopolio de la producción de cebada y como consecuencia el control de precios en la producción del cereal, eliminando la competencia. (The Beer Daily, 2013).

Hoy en día se siguen usando los mismos ingredientes naturales señalados por esa Ley, se le han añadido otros cereales como adjuntos mencionados anteriormente, otros aditivos alimentarios y frutas o especias, debido a la demanda de producción y su internacionalización.

Debido al desarrollo de la ciencia y tecnología cerveceras se pueden encontrar en el mercado diferentes cervezas, las cuales clasificamos en: industriales, artesanales y *gourmet*.

Las cervezas industriales. Son aquellas que como su nombre lo indica, se producen en una cervecería industrial la cual elabora millones de hectolitros al mes por lo que se necesita de gran maquinaria y equipo de trabajo. Se macera y fermenta en grandes tanques, no usa solamente granos de malta sino también otros cereales de menor calidad, usa aditivos químicos, estabilizantes etc. El producto resultante es filtrado una o varias veces, si es necesario para ser o no clarificada; es gasificada con dióxido de carbono artificial y/o natural, se pasteuriza y se envasa. (Beer Depot, 2013)

Las cervezas artesanales. En su proceso de elaboración no se incluye nada que no tenga: agua, cereales malteados o extracto de malta, lúpulo y levadura. En la etiqueta de estas cervezas no encontraremos conservantes ni ningún aditivo químico, es elaborada en pequeños volúmenes (comparadas con las industriales) para evitar su almacenamiento prolongado. El filtrado en una artesanal es ligero o

inexistente. Lo que favorece atributos como sabor, propiedades nutritivas, color y textura. El proceso de elaboración en la cerveza artesanal es manual desde el molido de las maltas hasta el embotellamiento. (Beer Depot, 2013)

Cabe mencionar que el significado de lo que es cerveza artesanal no está muy claro para muchos. De hecho, la definición no es muy específica y puede en algunas ocasiones provocar que algunas cervezas no sean catalogadas como cervezas artesanales cuando en realidad lo son o viceversa.

Por otro lado, algunos puristas artesanales están en contra de utilizar ingredientes que están fuera de la Ley de Pureza Alemana. Incluso algunas cervezas artesanales aseguran su gran calidad imprimiendo en la botella que se rigen por la Ley de Pureza Alemana antes mencionada. Pero el que utilicen únicamente estos ingredientes no asegura que la bebida fermentada será buena. De hecho esta Ley de Pureza se ha restringido en Alemania y en muchos lugares del mundo la creatividad que se le imprimen a las cervezas ha dado lugar a las llamadas cervezas *gourmet*.

Las cervezas *gourmet*. Son aquellas cervezas elaboradas con ingredientes adjuntos como: cáscara de naranja, cilantro, especias, frutas y dependen de la creatividad de sus autores. Tienen sabores fuertes y mayor contenido de grados de alcohol. (Cardozo, 2013). El término *gourmet* se utiliza como adjetivo para calificar a aquellas bebidas o alimentos de elaboración especial o edición limitada. Todas ellas son elaboradas con materias primas seleccionadas (las maltas orgánicas, agua de manantial, lúpulo seleccionado, etc.) lo que hace que el producto resultante tenga una alta calidad y permanezca estable en su gusto para el consumo por lo que se obtienen perfiles de aroma y de sabor que salen de lo común. (Reina, 2013). El término *gourmet*, por lo tanto, está asociado a aspectos de la gastronomía, a la selección de los ingredientes y a la forma de preparación, el conjunto de esos atributos es lo que determina que un plato o bebida sea considerado gourmet, (RAE, 2013). La categoría *gourmet* estaba generalmente ligada a las cervezas importadas provenientes de países con una gran tradición cervecera, como Alemania, Bélgica, Irlanda, etc. Esto no quiere decir que en la actualidad en el país no se produzcan

éste tipo de cervezas. En los últimos años se han desarrollado diferentes cervezas especiales con ingredientes endémicos como coco, mango, tamarindo, vainilla, chile, miel entre otros. (Beer Depot, 2013)

3. ANTECEDENTES

3.1 Alimentos y Bebidas Fermentadas

La fermentación de los alimentos data desde la prehistoria y está presente en todas las culturas del mundo como se mencionó con anterioridad. Algunos alimentos y bebidas fermentados han salido de su país de origen para convertirse en productos cotidianos en otros. Se denomina alimentos tradicionales a aquellos que se producen de forma artesanal o semiartesanal o para el consumo de culturas particulares. Son alimentos con características especiales debido a sus ingredientes locales y técnicas de producción. Las fermentaciones implicadas en estos alimentos y bebidas revisten una enorme complejidad y su estudio ha aportado y seguirá aportando enorme riqueza al conocimiento biotecnológico. (Domínguez, 2011)

Los alimentos y bebidas fermentados son aquellos en los que en su proceso existe el crecimiento y actividad de algunas enzimas o microorganismos ya sean hongos, bacterias, mezcla de mohos y levaduras o por cultivos mixtos. Hay una extensa variedad de estos alimentos alrededor del mundo. Algunos de ellos como la cerveza, el vino, el vinagre, el pan y los quesos han sido y son extensamente estudiados. Se han aislado los microorganismos y la “maquinaria” responsable de los cambios en las materias primas y son consumidos en cualquier parte del mundo. (Ruíz, 2013)

Al mismo tiempo el estudio de estas fermentaciones permite mejorar su elaboración y producirlos a nivel industrial. Según Hesseltine en el libro de Biotecnología Alimentaria, existen varias razones por las cuales se sugiere el uso de alimentos y bebidas fermentados:

- 1) **La prevención de enfermedades:** Algunos de los compuestos producidos en los alimentos fermentados evitan la proliferación de microorganismos patógenos.

- 2) **El aumento en la vida de anaquel.** Los microorganismos que provocan los cambios deseados en el producto se desarrollan rápidamente, evitando el crecimiento de organismos de descomposición. De esta manera se logra conservar el producto sin necesidad de utilizar energía en procesos como el enlatado, secado o refrigeración.
- 3) **El interés en una variedad de productos naturales de origen vegetal:** Existe actualmente interés en regresar a la alimentación natural por razones nutricionales y por los sabores o apariencia exótica de algunos de estos productos. Las dietas vegetales tienden a ser monótonas y deficientes en vitamina B₁₂. En todas las fermentaciones tradicionales se producen sabores, que en algunos casos se parecen al de la carne y la vitamina B₁₂ es producida en ellos por actividad microbiana
- 4) **El incremento en el interés científico en los alimentos fermentados:** Se han llevado a cabo investigaciones para producir alimentos más agradables a partir de los productos agrícolas, convirtiéndolos en productos comercialmente viables.
- 5) **Movilidad humana:** Después de la Segunda Guerra Mundial ha habido grandes movimientos de migración. Estos grupos introducen sus alimentos fermentados a otras partes del mundo.

Actualmente se consideramos además de las anteriores, dos razones más, muy importantes para el uso de bebidas y alimentos fermentados las cuales son:

- 6) **Efecto prebiótico:** Un prebiótico es un ingrediente alimenticio fermentado selectivamente que como resultado provoca cambios específicos, en la composición y/o actividad de la microbiota intestinal, lo que confiere beneficio(s) a la salud del huésped" (Rastall, 2010).
- 7) **Efecto probiótico:** Los probióticos son microorganismos vivos que, cuando se administran en cantidades adecuadas, confieren un efecto benéficos sobre la salud del huésped. (FDA, 2012).

3.2 Antecedentes Históricos

En uno de los cinco libros clásicos de la Antigua de China se describe la importancia del *Chu* el cual eran granos contaminados naturalmente por mohos para la elaboración de una bebida alcohólica llamada *Chiu*. El *Chu* servía como fuente de enzimas para la hidrólisis del almidón en sustancias más simples que otros microorganismos convertirán a etanol. Se dice que el *Chu* debe haberse descubierto poco después de que se empezaron a usar los granos como alimento humano, es decir hace 6 000 a 7 000 años. (García, M. *et. al*, 1993)

El proceso de panificación data de la misma época que la cerveza en Mesopotamia hace 4000 años y posteriormente se fue generalizando su consumo en todos los pueblos antiguos como egipcios, griegos, romanos, celtas, españoles y africanos. El consumo de la cerveza se volvió crucial para la vida social, religiosa y económica por lo que fue el sustento líquido básico de las primeras civilizaciones. Ese fenómeno se logró en las civilizaciones que fueron capaces de generar excedentes de cereales debido a un nivel de organización agrícola a gran escala. (Standage, 2006)

El maíz es originario de Mesoamérica donde se cultivaba desde hace 5 000 años. Los indígenas americanos han consumido el maíz preparado de diferentes maneras incluyendo la fermentada desde mucho antes de la conquista española. Los alimentos y bebidas fermentadas de maíz han sido parte importante de la dieta mesoamericana y en muchos casos se usan con fines ceremoniales. (Paliwal, 2013). A fines del siglo XIX aparecieron reportes de alimentos y bebidas fermentadas donde se considera al maíz y otros cereales. Estas publicaciones reportaban por lo general la descripción del producto, aislamiento de los microorganismos asociados, de la acción de los microorganismos sobre el sustrato, los métodos de preparación y sugerencias del uso de estos microorganismos en la tecnología europea. Estos estudios cesaron al empezar la Primera Guerra Mundial y resurgieron en los años 50. (García, M. *et. al*, 1993).

En 1965 se publicó la primera lista de alimentos fermentados tradicionales y actualmente se ha incrementado el interés por el estudio de estos alimentos, entre los cuales se encuentran verduras como la col, rábanos, pepinos que se fermentan en salmuera, etc. Como se puede apreciar en la tabla 1 existen productos

fermentados de pescado, carnes rojas y granos fermentados como frijol, arroz y maíz por mencionar algunos.

Tabla 1. Lista de algunos alimentos fermentados en los años 50.

PRODUCTOS	CARACTERÍSTICAS
Bebidas: Cerveza y Vino	Bebidas fermentadas por levaduras del género <i>Sacharomyces ssp.</i> elaboradas a base de cereales y uvas respectivamente.
Sauerkraut: col blanca o repollo	Especialidad de la cocina austriaca pero también se realiza en muchas zonas de Alemania, fermentada en salmuera.
Verduras fermentadas: zanahorias, rábanos, pepinos y otras verduras	Fermentadas por diferentes bacterias en salmuera (mezcla de sales) que producen acidez y sabor característico.
Pescados fermentados: Kecap, Patis, Bagoon, Kapy.	Condimentos que se producen por digestión proteica del pescado previamente salado. Predominan las bacterias esporuladas del género <i>Bacillus</i> , así como <i>Micrococcus</i> .
Granos fermentados: Natto y Thua-nao	Se producen a partir del frijol de soya fermentado por <i>Bacillus nafta</i> o <i>natto</i> y <i>Bacillus subtilis</i> respectivamente.
Productos amiláceos fermentados por bacterias	Maíz: <i>Ogi</i> y <i>kenkey</i> Arroz: <i>Idli</i> , <i>Dosa</i> y Puntos (panes) Yuca: <i>Gari</i>
Productos lácteos	Bebidas como yogurt, <i>buttermilk</i> , <i>yakult</i> . leche acidófila, Dahi. Kaffir o bantú
Otras bebidas:	Cerveza de sorgo la cual es una bebida alcohólica-ácida, efervescente, de color café rosa y con la consistencia de un atole ligero preparado por la tribus del Sur de África desde tiempos prehistóricos. Kéfir, bebida alcohólica efervescente, de leche de cabra, oveja o vaca, originaria de las montañas del Cáucaso, en la ex URSS. Se prepara añadiendo a la leche pasteurizada y tibia, granos de <i>kéfir</i> , que contiene la flora que lleva a cabo la fermentación.

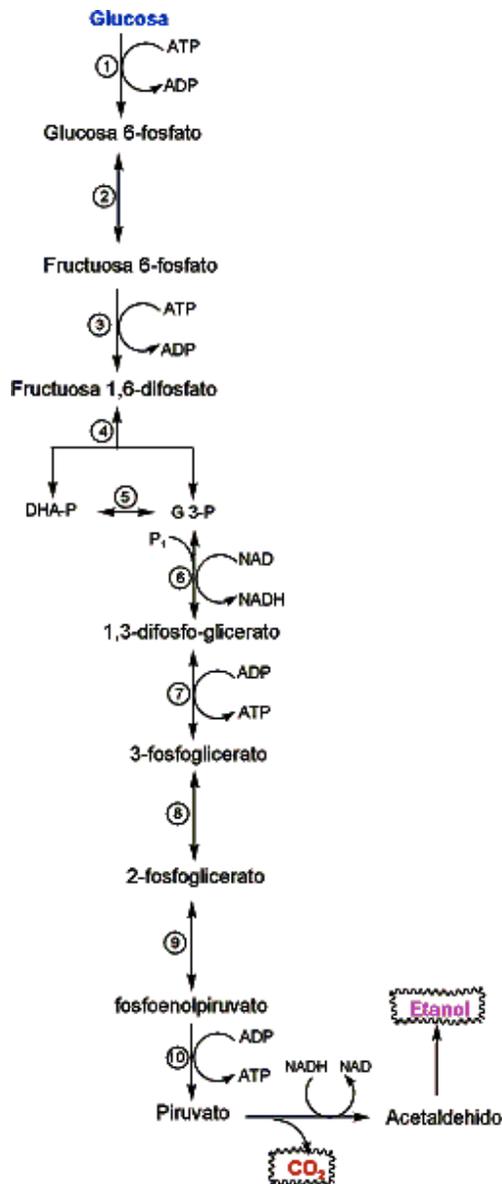
Elaboración propia a partir de: (García, M. et., al ,1993; Hough, 1990 y Ruíz, 2013)

3.3 Bebidas alcohólicas fermentadas

Son aquellas que se fabrican empleando solamente el proceso de fermentación, en el cual se logra que un microorganismo transforme el azúcar en etanol y dióxido de carbono. Con este proceso se obtienen bebidas con un contenido máximo de alcohol equivalente a la tolerancia del microorganismo que se utilice para la fermentación. Por su contenido bajo de alcohol que proviene únicamente de la fermentación, se conservan casi inalterados la mayoría de los micronutrientes como vitaminas, antioxidantes y minerales presentes en los alimentos que les dan origen. Estas bebidas como la cerveza y la sidra contienen entre 4% y 7% de etanol v/v y de 12% a 15% v/v en el vino. (Hough, 1990; Lewis and Young, 1995 y CERVEZA & BEER, 2003)

Aunque muchos microorganismos producen etanol como producto final de su metabolismo energético, éstos constituyen dentro de la población microbiana los menos abundantes. Dentro de este pequeño grupo el género *Saccharomyces* durante miles de años se ha utilizado como el más importante productor de etanol para beneficio del hombre. Es por esto que actualmente *S. cerevisiae* y especies relacionadas tienen importancia comercial, la cual radica en su gran capacidad para convertir azúcares (principalmente dextrinas, maltosa y glucosa) en etanol y dióxido de carbono de manera rápida y eficiente. (Paez, 2010)

A pesar de lo mencionado, hasta la fecha no se han entendido a fondo los mecanismos que regulan el flujo glicolítico y la producción de etanol. Actualmente se sabe que el incremento en la transcripción de los genes que codifican para las enzimas de la glicólisis no provoca un aumento en la producción de etanol. A partir de este conocimiento se considera que el principal mecanismo de control del flujo es la modulación de la actividad enzimática mediada por sustratos, productos o metabolitos efectores. Sin embargo, hasta el momento no se han identificado las enzimas particulares que limitan el flujo de la vía *in vivo*. El entendimiento de la regulación de esta vía permitirá la construcción de cepas modificadas genéticamente con mayor velocidad de producción de etanol, lo que podría reducir los costos de producción. Figura 3



La reacción es catalizada por:

- 1 Hexoquinasa
- 2 Glucosa -6-fosfato isomerasa
- 3 Fosfofructoquinasa
- 4 Aldolasa
- 5 Triosa fosfato isomerasa
- 6 Gliceraldehido-3-fosfatodehidrogenasa
- 7 3-fosfoglicerato quinasa
- 8 Fosfogliceromutasa
- 9 Fosfoenolpiruvato deshidratasa
- 10 Piruvato quinasa

DHA-P = Dihidroxicetona fosfato

G3-P = Gliceraldehido 3-fosfato

P₁ = Representa un grupo de fosforo inorgánico

Figura 3. Vía glicolítica de *Embden-Meyerhof-Parnas* o *Glucólisis* para el metabolismo de glucosa.

Imagen tomada de: *Metabolismo Bacteriano*, 2013

Por ejemplo, *Saccharomyces cerevisiae* creciendo en medio líquido en un rango de temperatura de 13-27 °C tiene una tolerancia máxima de 11 grados o 11% de etanol v/v. La tolerancia al etanol depende de la habilidad de la célula para exportar el etanol del interior al medio externo es decir de la composición y fisiología de la membrana. Cabe mencionar que la mayor parte de las especies

del género *Saccharomyces* tienen su temperatura óptima de producción de etanol hacia los 20°C. Cuanto más elevada es la temperatura, la producción de etanol interfiere en el crecimiento y desarrollo poblacional de las levaduras y al final el poder fermentativo conseguido es menor. La toxicidad al etanol aumenta cuando aumenta la temperatura y aquellas levaduras que son más tolerantes al etanol también lo son a la temperatura. La diferencia de tolerancia al etanol entre cepas, ha sido asociada a niveles celulares de acetaldehído, aquellas cepas con menores niveles de acetaldehído citoplasmático serían las más tolerantes al etanol. (UDELAR, 2013)

El proceso de fermentación es relativamente simple cuando el sustrato a fermentar es rico en azúcares como maltosa, sacarosa, fructosa o glucosa. Si el sustrato es almidón, como el contenido en la cebada, el arroz y el maíz, la levadura no lo puede fermentar directamente, por lo que deberá ser transformado fisicoquímicamente en azúcares más simples: este proceso es conocido como sacarificación. Esta fase consiste en la cocción controlada del sustrato amiláceo y una posterior acción de enzimas hidrolíticas (amilasas). En realidad, casi cualquier sustrato amiláceo puede ser sometido a este proceso para obtener bebidas de una mayor o menor graduación alcohólica.

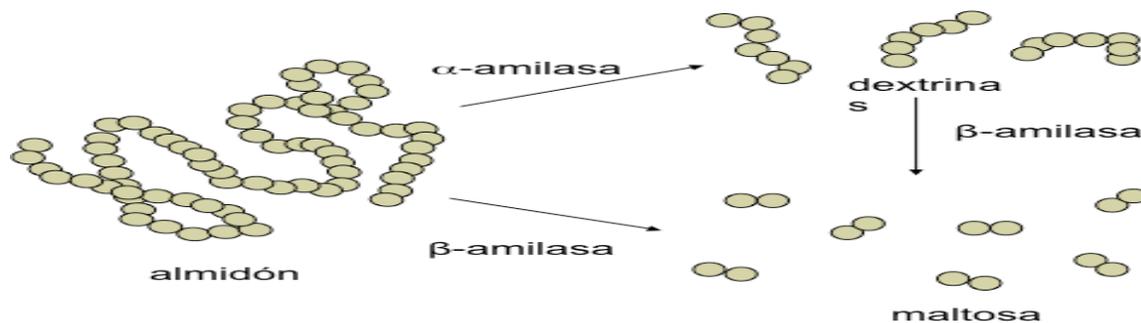


Figura 4. Sacarificación del almidón. Imagen tomada de: García, 2011.

El sabor y el aroma de las bebidas alcohólicas están constituidos por el etanol además de una gran variedad de compuestos que se encuentran en cantidades traza. Estos compuestos son principalmente alcoholes superiores, carbonilos, ácidos orgánicos, ésteres y compuestos azufrados, que en conjunto reciben el nombre de

congenéricos. Estos metabolitos volátiles se generan en pequeñas concentraciones durante la fermentación. (Santillan y Garibay, 2000)

Los congenéricos por su presencia y concentración en las cervezas pueden caracterizar y hacen únicas a las diferentes variedades de cervezas infiriéndole características distintivas. Los factores que influyen en la producción de congenéricos son:

- a) especie de levadura utilizada
- b) temperatura de fermentación
- c) nivel de adjuntos
- d) el pH y,
- e) la capacidad amortiguadora del mosto

Por lo tanto, el origen de los congenéricos como se mencionó provee de características organolépticas especiales a la cerveza de acuerdo a su concentración. Lo anterior se debe al metabolismo de la levadura utilizada ya que tienen requerimientos diferentes, es decir, que depende de los transportadores y los acarreadores para cada una de las moléculas de los azúcares involucrados. Durante la fermentación el microorganismo las transformará en otras moléculas capaces de conferir características peculiares al producto final. (García, M. *et. al*, 1993).

3.3.1 Aspectos nutrimentales

Los microorganismos han sido utilizados durante siglos para modificar los alimentos y junto con las bebidas fermentadas se han constituido en un sector primario y extremadamente importante de la Industria Alimentaria.

Estas bebidas aportan una cantidad variable de energía condicionada principalmente por su contenido de alcohol e hidratos de carbono presentes. No aportan grasas, pero proporcionan cantidades significativas de proteínas, cantidades variables de vitaminas en el caso de cerveza, vino y sidra (B2, B6, niacina, ácido pantoténico, B12, ácido fólico) y algunos minerales como hierro, magnesio, silicio, selenio y zinc. (Posada, 1998)

Diversos estudios científicos nacionales e internacionales confirman que el consumo moderado de bebidas fermentados por adultos sanos (siempre que no excedan de un máximo de 30 g/día en el caso de los hombres y 20 g/día en las mujeres) puede ser saludable por las propiedades que les confiere su baja graduación y las materias primas con las que están elaboradas. Otros estudios han constatado que el consumo moderado de bebidas fermentadas se asocia con personas que llevan una dieta más saludable, es decir, ingerían más cantidades de pescado, verduras, frutas y cereales. El consumo moderado de bebidas fermentadas puede tener efectos protectores sobre el sistema cardiovascular, debido al alto poder antioxidante y antiinflamatorio de los polifenoles (antioxidantes naturales) que contienen. Su consumo moderado puede reducir de forma significativa enfermedades cardiovasculares, además de tener efectos preventivos sobre muchas otras patologías de naturaleza degenerativa. Una buena parte de las propiedades saludables de las bebidas fermentadas se debe a componentes minoritarios, capaces de potenciar acciones biológicas en niveles reducidos con relevancia para la salud humana. (Páez, 2010)

3.3.2 Cerveza.

3.3.2.1 Definición

La cerveza es una bebida de bajo contenido alcohólico (3 a 6 °C v/v), no destilada, elaborada a base malta, agua, lúpulo, levadura y/o varios cereales llamados adjuntos. Carbonatada por consecuencia de la fermentación y/o por la adición de CO₂, ácida con un pH entre 4.2 y 4.6, espumosa, con color de ámbar hasta negro y saborizada por la infusión de lúpulo. (Houng, 1990; Lewis and Young, 1995; Norma Oficial Mexica NOM-142-SSA1-1995; CERVEZA & BEER, 2003 y The Beer Daily, 2013.)

3.3.2.2 Clasificación

Lager (fermentación baja): Son cervezas elaboradas con levadura *Saccharomyces pastorianus* o *Saccharomyces carlsbergensis* las cuales fermentan entre 7 a 11 °C. Son de fermentación baja, lo que significa que la levadura fermenta en el fondo del tanque. Tiene un menor contenido de esteres y alcoholes superiores, mayor cuerpo y

menor contenido de alcohol. Estas levaduras se utilizan en mostos de menor gravedad inicial y son consumidas en todo el mundo.

Ale (fermentación alta): Una de las características de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* es que fermenta en la superficie de los tanques de 14 a 17 °C. Debido a que fermentan a una temperatura mayor, su contenido de ésteres y alcoholes superiores es muy diversa. Las cervezas elaboradas bajo estas condiciones suelen tener menor cuerpo, pero mayor contenido alcohólico porque se utilizan mostos de mayor gravedad inicial. Su consumo se encuentra localizado principalmente en Europa. Tabla 2

Tabla 2. Características de la fermentación de cervezas *Lager* y *Ale*.

CERVEZA		CARACTERÍSTICAS
LAGER	TEMPERATURA	$T_i=7-11^{\circ}\text{C}$
		$T_f=10-15^{\circ}\text{C}$
	TIEMPO	Clímax de la fermentación= 3-5 días
		Tiempo total= 8-10 días
GRAVEDAD ESPECÍFICA	$\rho_{\text{inicial}}= 32-40^{\circ}\text{Plato}$	
	$\rho_{\text{final}}= 8-10^{\circ}\text{Plato}$	
ALE	TEMPERATURA	$T_i=15-16^{\circ}\text{C}$
		$T_f=21-26^{\circ}\text{C}$
	TIEMPO	Clímax de la fermentación= 36 horas
		Tiempo total= 72 horas
GRAVEDAD ESPECÍFICA	$\rho_{\text{inicial}}= 44-48^{\circ}\text{Plato}$	
	$\rho_{\text{final}}= 11^{\circ}\text{Plato}$	

Elaboración propia a partir de: (Hough, 1990; Lewis and Young, 1995; Dendy y Dobraskzczyk, 2001; CERVEZA & BEER, 2003, Club de las grandes cervezas del mundo, 2013 y The Beer Daily, 2013.)

Lambic (fermentación espontánea): Es un inusual tipo de cerveza elaborada en Bélgica, con un amplio espectro de sabor. La cerveza *Lambica* se produce principalmente en pequeñas cervecerías de Bruselas y sus alrededores. En su elaboración se emplea malta de cebada mezclada con trigo sin maltear (30 a 40%). No se le agrega levadura, ya que recibe por contacto con el aire una micro biota natural existente en la cervecería, lo que da lugar a una fermentación espontánea,

semejante a la del vino. Después de su fermentación esta cerveza es introducida en barriles de roble o castaño y se deja reposar de uno a tres por lo que poseen un fuerte carácter ácido. (Club de las grandes cervezas del mundo, 2013 y Ovinum, 2012)

Tabla 3. Clasificación primaria de la cerveza.

Clasificación de la cerveza		
<i>Lager</i>	<i>Ale</i>	<i>Lambic</i>
S. pastorianus (carlsbergensis)	S. cerevisiae	Levaduras silvestres de la zona o lámbicas
Menos aroma	Más aromática	Muy seca
Más cuerpo	Temperatura más alta	Poco gas carbónico
Predomina en todo el mundo	Se encuentra en Inglaterra y Norte de Europa	Principalmente Bélgica, Bruselas y sus alrededores

Elaboración propia a partir de: (Hough, 1990; Lewis and Young, 1995; Dendy y Dobraskzczyk, 2001; CERVEZA & BEER; 2003, Ovinum, 2012; Club de las grandes cervezas del mundo, 2013 y The Beer Daily, 2013.)

3.3.2.3 Producción

Desde su origen, el crecimiento de la industria cervecera en nuestro país ha sido prometedor. A partir de los años 80 del siglo XIX en que comenzó a desarrollarse esta industria actualmente existen más de 90 marcas de cervezas mexicanas. Dos compañías concentran la producción de esta bebida en nuestro país: Cuauhtémoc-Moctezuma y Grupo Modelo las cuales forman parte de la holandesa *Heineken* (Holanda) y *Anheuser-Busch InBev* (Bélgica) generando ganancias de hasta 5 mil millones de dólares anuales. (PROFECO, 2013).

México se encuentra dentro de los 10 principales países productores de cerveza. En el 2012 se encontró en el sexto lugar con 81 millones de hectolitros al año. El primer lugar lo tiene China, con una producción superior a los 420 millones de hectolitros al año. Siguen en esta clasificación tres países: Estados Unidos, Brasil, Rusia. El primero, con una producción que supera los 225 millones de hectolitros al año, el segundo con 133 millones de hectolitros de producción anual y el tercero con una producción superior a 98 millones de hectolitros al año, a pesar de que Alemania es el principal país sinónimo de cerveza en el mundo, ésta ocupa el quinto lugar con

95.5 millones de hectolitros anuales. De México siguen países como España, Venezuela, Colombia y Argentina, tabla 4.

Tabla 4. Producción de cerveza por país.

Páís	Millones de hectolitros anuales
China	489
E.U	225
Brasil	133
Rusia	98
Alemania	95
México	85
España	33.6

Elaboración propia a partir de : (EL GRAN CATADOR, ,2013)

La cerveza en México es una de las bebidas alcohólicas preferidas. La Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO) declaró que cada mexicano ingiere anualmente 62 litros de cerveza lo que implica que nuestro país ocupa el sexto lugar mundial sólo después de la República Checa donde la ingesta *per cápita* es de 169 litros de cerveza por año, Alemania con 131, Inglaterra con 103, Estados Unidos con 85 y España con 66 litros. (IIEC, 2013)

3.4 Bebidas Mexicanas Fermentadas.

Antes de la llegada de los conquistadores españoles, los pueblos indígenas contaban con una gran variedad de productos alimenticios. La base de su alimentación era el maíz que consumían de diferentes maneras: tostado, hervido, reventado, en tortilla, en tamales y en forma de bebida como atole.

Entre las plantas que se consumían en México se encuentran el nopal, tuna, maguey, amaranto, calabaza, frijol, tomate, aguacate, huaunzontle, quelites y quintoniles. (Laboratorio de Productos de Cereales y Leguminosas, 2013)

Entre las técnicas que utilizaban para preparar sus alimentos se encuentra la fermentación. En nuestro país existen más de 70 grupos étnicos y muchos de los cuales hacían uso de estas técnicas para preparar sus alimentos y bebidas, Tabla 3.

Además de que utilizan los productos fermentados con fines estimulantes, medicinales y religiosos.

Tabla 5. Bebidas fermentadas originarias de México

Nombre	Descripción	Estados donde se consume
Agua agría	Bebida no embriagante preparada con maíz molido, mezclado con agua y fermentado	San Luis Potosí, Veracruz, Hidalgo, Puebla, Guerrero, Distrito Federal, Tlaxcala, Michoacán, Jalisco, Tlaxcala.
Atole	Bebida no embriagante preparada con masa de maíz o de tortillas y mazorcas	San Luis Potosí, Veracruz, Hidalgo, Puebla, Guerrero, Distrito Federal, Tlaxcala, Michoacán, Jalisco, Tlaxcala.
Atole agrio	Bebida no embriagante preparada con maíz negro hecho masa y fermentado durante 4 o 5 días	San Luis Potosí, Veracruz, Hidalgo, Puebla, Guerrero, Distrito Federal, Tlaxcala, Michoacán, Jalisco, Tlaxcala.
Cuaruapa	Bebida embriagante preparada con el zumo de caña de maíz, puesto en infusión con “palo timbre” (<i>Acacia angustissima</i>) y panocha.	Puebla: Tehuacán
Charagua	Bebida embriagante a base de pulque rezagado, al cual se le añade almíbar, chile ancho y hojas de maíz tostadas. Se calienta lentamente y se pone a fermentar.	San Luis Potosí, Veracruz, Hidalgo, Puebla, Guerrero, Distrito Federal, Tlaxcala, Michoacán, Jalisco, Oaxaca.
Ostoche	Bebida embriagante obtenida del zumo de caña de maíz, con pulque o panocha, o solamente jugo de caña de maíz mezclado con agua y fermentado.	Distrito Federal, Estado de México.
Pozol	Bebida ácida no embriagante preparada diluyendo en agua masa de maíz nixtamalizado fermentada. La masa se fermenta en forma de bolas, envueltas en hojas de plátano.	Tabasco, Chiapas, Yucatán Oaxaca, Veracruz, Guerrero, Quintana Roo.

Quebrantahuesos	Bebida embriagante hecha con el zumo de caña de maíz verde y maíz tostado machacado, al que se le añaden frutos de pirú (<i>Schinus molle L.</i>) y se deja fermentar.	Guanajuato.
Sendechó	Bebida, especie de cerveza preparada a partir de maíz germinado, secado, molido con “chiles colorados”. La harina se mezcla con agua para formar un atole, que se hierve, se cuele, se enfría, se le añade el fermento y se deja fermentar. El fermento se prepara de un sendechó anterior.	Estado de México.
Tepache	Bebida preparada con granos de maíz y piloncillo o panela, dejándose fermentar con cierta cantidad de agua.	Veracruz, Puebla, Guerrero, Oaxaca, Chiapas.
Tesgüino	Bebida semejante a cerveza, preparada al fermentar un atole de maíz germinado, molido y cocido con “catalizadores”, que son fragmentos de plantas existentes en la región donde se elabora.	Sonora, Chihuahua, Nayarit, Zacatecas, Jalisco.
Vino de caña	Bebida embriagante preparada con una infusión de caña de maíz molida y endulzada con panocha después de la fermentación.	Estado de México, Morelos.
Colonche	Bebida dulce, gaseosa, de olor ligeramente butiráceo y de bajo contenido alcohólico. Se obtiene por fermentación de jugo de tunas de diferentes especies de nopales.	Chihuahua, Sonora, San Luis Potosí, Zacatecas y Durango.
Tepache	Bebida dulce refrescante obtenida por fermentación de jugo y pulpa de piña, manzana, naranja, guayaba y arrallanes. Por fermentación prolongada se transforma en bebida alcohólica y después en vinagre.	De consumo general en todo el país.

Tibicos	Masas gelatinosas, compactas, de color blanquecino o amarillento, translúcidas u opalescentes, de forma irregular y de tamaño variable. Están constituidas por agua y una matriz de dextrana en las que se encuentran embebidas bacterias y levaduras. Se usan para producir una bebida de bajo contenido alcohólico y acético a partir de jugos de frutas o de agua endulzada con piloncillo. Si se prolonga la fermentación se obtiene una bebida alcohólica y después en vinagre.	De consumo general en el país.
Chicha	Bebida alcohólica elaborada con piña, agua de cebada y masa de maíz prieto. Se deja fermentar 4 días y se le agrega dulce, clavo y canela.	De consumo general en el país.
Chiquito	Bebida alcohólica preparada con agua y tunas rojas, fermentada en ollas.	De consumo general en el país.
Chuanuco	Bebida alcohólica elaborada con ciruelas, durazno o manzana, los cuales se muelen, se mezclan con agua y panocha, se dejan fermentar y se cuela antes de beber.	De consumo general en el país.
Obo (hobo o jobo)	Bebida alcohólica preparada con el fruto de obo, el cual se fermenta mezclado con agua y piloncillo.	De consumo general en el país.
Saguaro o sahuaro	Bebida alcohólica elaborada con frutos de diversas cactáceas: cardón, pitahaya dulce o agria, saguaro, tuna barbona o sina. Se machacan y se ponen a fermentar en ollas de barro.	Sonora, Sinaloa, Nayarit.

Tejuino de tuna	Bebida alcohólica preparada poniendo en infusión el zumo de todo tipo de tunas con cáscaras de timbre (<i>Acacia angustissima</i>)	Sonora, Sinaloa, Nayarit.
Vinos de frutas	Los vinos de capulín, ciruela amarilla, pitahayas, guayaba, dátil, piña, saúco, chirimoya y vainas de mezquite son elaborados por diversos grupos étnicos mexicanos.	Sonora, Sinaloa, Nayarit.
Pulque	Bebida alcohólica blanca y viscosa, que se obtiene por fermentación del aguamiel, que es la savia azucarada de varias especies de magueyes del género <i>Agave</i> .	Distrito Federal, Estado de México, Querétaro, Tlaxcala, Morelos, Guerrero, Michoacán, Guanajuato, Hidalgo, San Luis Potosí, Veracruz, Oaxaca, Puebla.
Tuba	Vino de palma que se elabora por fermentación de la savia del tallo o de las inflorescencias de varias especies de palma. Es una bebida dulce, algo viscosa, de color blanco, muy efervescente y ligeramente alcohólica.	Guerrero, Colima.
Elizitli	Bebida a base de caña de azúcar y hierbas irritantes.	Guerrero, Colima.
Vino de savia de palma	Vino elaborado con la savia de las palmas cohun, corozo, y de la palma coyol.	Guerrero, Colima.
Vino tepeme	Elaborado con el zumo de pencas de un maguey silvestre, que se hierve con palo de mezquite	Guerrero, Colima.
Balché	Bebida alcohólica preparada con miel de abejas y cortezas de árbol de blaché (<i>Lonchocarpus longistyllus</i>)	Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Chiapas
Vino de cortezas de zarzaparrilla	Elaborado con cerveza de maíz y cortezas de zarzapilla	Chiapas
Vino de pino y de mezquite	Preparado con las cortezas internas de las ramas de pina, al que en ocasiones se les añaden cortezas internas de mezquite.	Estados del noroeste de México

Vino de maguey	Preparado a partir del extracto de corazones de agave machacados y la raíz gotoko. El extracto se hierve y posteriormente se fermenta. En ocasiones se mezcla con maíz.	Chihuahua
Zambumbia	Bebida alcohólica preparada con cebada tostada y machacada, a la que se le agrega agua, se deja fermentar 3 o 4 días y posteriormente se endulza con miel o panocha.	

Elaboración del autor: García, M. *et. al*, 1993)

Como se puede apreciar en la tabla 5 existen una gran cantidad de bebidas y alimentos fermentados mexicanos, por lo que dentro de los objetivos del presente trabajo es enriquecer esta variedad, estableciendo protocolos para obtener una bebida fermentada a base de malta y amaranto que cumpla con la legislación vigente, con cualidades nutrimentales y sensoriales novedosas y que representen una opción atractiva para el consumidor y para los productores de la semilla de amaranto.

3.5 Cebada y malta

La cebada (*Hordeum vulgare*) o también llamada malta después de pasar por un proceso de germinación controlada, es una planta monocotiledónea anual, perteneciente a la familia de las gramíneas, mide de 60 a 90 cm. con espigas en la punta. Existen dos variedades: de seis y de dos carreras, como se ve en la figura 7. Las cebadas se clasifican en función de la estructura de sus espigas. En las cebadas con espigas de dos carreras, solamente las flores centrales de las triadas florales son fértiles, de ahí que vista desde arriba, la espiga madura presenta dos filas de grano. Esta se cultiva y utiliza principalmente en Europa y América. Los granos tienen una cubierta más delgada, endospermo con mayor concentración de almidón y menos proteínas. Por otro lado en las cebadas de seis carreras, todas las flores son fértiles y por ello se forman seis hileras de grano, ésta se cultiva y utiliza principalmente en EUA e India; ya que es más resistente a temperaturas extremas.

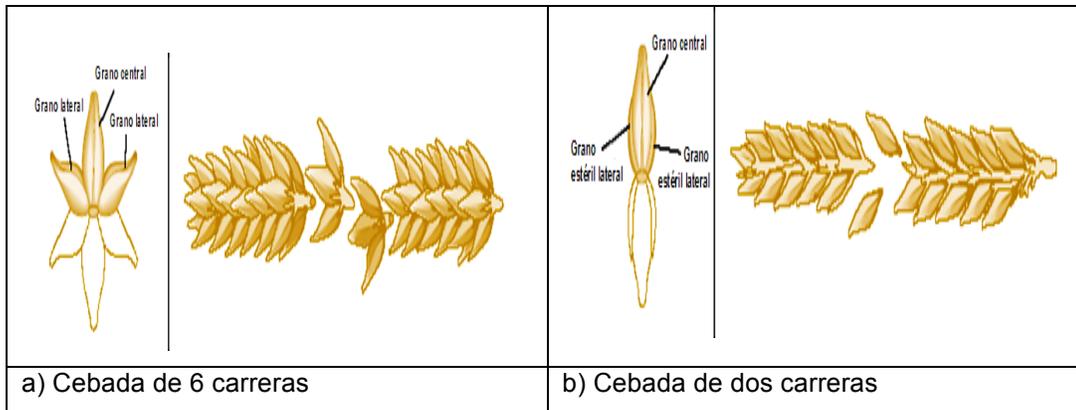


Figura 5. Cebada de 6 y 2 carreras. Tomada de : Pérez, 2010

El grano de cebada está compuesto por:

Lema y palea son estructuras de material lignocelulósico, fibroso y correoso, éstos protegen del ataque de insectos y hongos.

Pericarpio es una capa delgada, rica en β -glucanos unidos covalentemente a la celulosa de la cubierta, manteniéndola fusionada.

La aleurona es una capa de tres células de grueso, tiene actividad respiratoria y es metabólicamente intensa; se sintetizan fitohormonas y enzimas hidrolíticas durante la germinación.

Subaleurona es un tejido de transición entre aleurona y endospermo que contiene pequeños gránulos de almidón y alto contenido de proteínas.

El germen o embrión contiene células que generan las raíces, hojas y tallo. Posee alta actividad respiratoria y metabólica.

El escutelo es el tejido que separa el germen del endospermo.

El endospermo es el tejido de reserva alimenticia del grano, sin actividad metabólica, contiene gránulos de almidón embebidos en una matriz de proteínas solubles (prolamina y gluteína), Fig., 8. (Hough, 1990 y García, 2011).

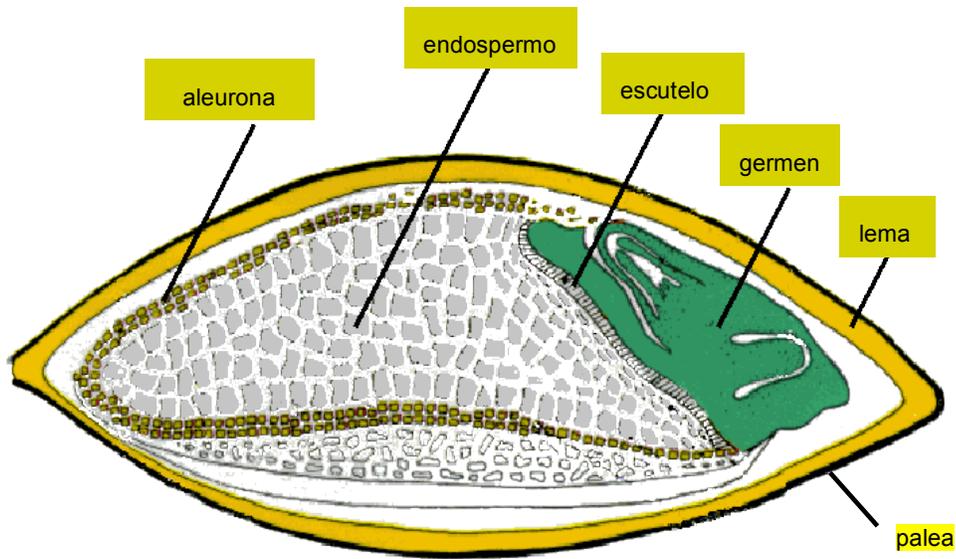


Figura 8. Grano de cebada. Tomada de: García, 2011

3.5.1 Composición química de malta y cebada

Como se puede apreciar en las tablas 6 y 7 el grano de malta está constituido principalmente de carbohidratos que es una de las fuente de energía de los organismos vivos, el cual se almacena principalmente en el endospermo. Los carbohidratos también sirven como componentes estructurales del grano. Un ejemplo de carbohidratos estructurales incluye la hemi-celulosa de las paredes del grano.

Tabla 6. Análisis proximal del grano de cebada.

Componente	g/100g
Carbohidratos	54 – 65
Celulosa	8 – 10
Proteína	10
Grasa	1.8 - 3
Agua	10 - 14
Minerales	2 – 3

Elaboración del autor a partir de: Hernández, 1996.

Aunque los carbohidratos son cuantitativamente el grupo más importante de componentes para el proceso fermentativo, el estudio de de las proteínas del grano y

de las enzimas es necesario para entender cómo esos materiales interactúan durante el proceso de elaboración de una cerveza, tabla 7.

Tabla 7. Componentes del grano de cebada

Componente	g/100g
Humedad	10 – 12
Proteína Total (Cruda)	9 - 10
Albúmina	5 % del total de Proteínas
Globulina	31 % del total de Proteínas
Prolamina (Hordeína)	35 % del total de Proteínas
Glutelina	29 % del total de Proteínas
Carbohidratos	55 – 63
Fibra	15
Fibra Cruda	3.6 – 5
Fibra Dietética	15
Grasa	2 - 3
Cenizas	2 - 3.5
Polifenoles	0.3 – 0.8

Elaboración del autor a partir de: (Hernández, 1996 y García, 2011)

La cantidad y variedad del material proteínico, concentración de aminoácidos, vitaminas y minerales presentes en el grano de cebada repercutirán de forma directa en el producto final tabla 8.

Tabla 8. Contenido de aminoácidos, vitaminas y minerales en cebada maltera

Aminoácidos	g/100 g proteína	Aminoácidos	g/100 g proteína	Vitaminas (mg/100g)	Minerales (mg/100g)		
Proteína total	9.91	Isoleucina*	0.362	Niacina	1.10	Potasio	160
Leucina	0.674	Glicina	0.359	Ácido pantoténico	0.282	Fósforo	181
Fenilalanina*	0.556	Aminoácido	0.337	Vit. B6	0.260	Magnesio	37
Arginina	0.496	Tirosina*	0.284	Tiamina	0.19	Calcio	12
Valina*	0.486	Histidina	0.223	Vit (B12)	0.08	Hierro	2.1
Serina	0.418	Cisteína	0.219	Vit. E	0.02	Manganeso	1.32
Lisina	0.406	Metionina*	0.190	Vit. A	22UI	Cobre	0.42
Treonina	0.389	Triptófano*	0.165	Vit. K	2.2 mcg		
Alanina*	0.386						

Elaboración del autor: Hernández, 1996.

La cebada después de que ha sido sometida a un proceso de germinación controlado de tiempo, humedad y temperatura se conoce como malta y a este

proceso se le conoce como malteo. Su principal objetivo es aumentar la capacidad enzimática y la parcial hidrólisis del almidón en la cebada, tabla 10.

Tabla 10. Proceso de malteado de la cebada.

CONDICIONES	OBJETIVOS	EFECTOS
t=1-4 días T=10-15°C	<ul style="list-style-type: none"> • Remover el material flotante. • Lavar el grano. • Aumentar la humedad del grano de 12% a 41-45% para iniciar el proceso de germinación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proveer suficiente aire a los granos. • Extraer el CO₂ producido. • Temperatura del agua. • Soluciones de Cu para eliminar contaminaciones por hongos
t=4-10 días T= 13-16°C	<ul style="list-style-type: none"> • Producir el nivel óptimo de enzimas. • Favorecer la rotura de la matriz proteica, con el fin de que el almidón este accesible para las enzimas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Minimizar las pérdidas de extracto por crecimiento y respiración. • Producir una malta balanceada para no producir exceso de color durante el secado.
Depende del tipo de malta	<ul style="list-style-type: none"> • Detener el proceso de germinación. • Disminuir la humedad para garantizar una buena conservación. • Desarrollar el color y aroma requerido por el cervecero. 	<ul style="list-style-type: none"> • Respetar la curva de temperatura / tiempo para no destruir enzimas.

Elaboración propia a partir de: (Hough, 1990; Lewis and Young, 1995 y Gacía, 2011)

En función del proceso de malteado, existen diferentes tipos de malta:

Clara, *Pilsen*, Viena, *München*, caramelo, *whisky*, diastásica, tostadas, negra. etc.

El color es uno de los factores diferenciadores. Las maltas coloreadas se utilizan más bien para las cervezas doradas o negras mientras que la malta clara se prefiere para las cervezas "*Pilsen*". (Lewis and Young, 1995; Beer Depot, 2013)



Fig. 7 Tipos de malta: malta chocolate, malta Múnich y malta pálida o *Pilsen*. Tomada de: Club de las grandes cervezas del mundo, 2013

Debido a este proceso de malteo, las características y el contenido de algunos de los componentes de la cebada cambian. Tabla 10. Se aprecia un aumento en el porcentaje de azúcares que se debe a la parcial hidrólisis del almidón a azúcares más simples, al igual que un aumento en el nitrógeno soluble y por último un aumento en el poder diastásico ($^{\circ}\text{L}$), el cual se basa en la capacidad de la malta para hidrolizar almidón y por lo tanto generar grupos reductores (azúcares y dextrinas).

Tabla 11. Diferencias en composición entre cebada y malta.

Medida	Cebada	Malta
Peso del grano (mg)	32 - 36	29 - 32
Almidón %	55 - 60	50 - 55
Azúcares %	0.5 - 1.0	8 - 10
Nitrógeno total %	1.6 - 2.3	1.6 - 2.3
Nitrógeno soluble (% del total)	10-12	35-45
Extracto %	79-80	>80
Poder diastásico ($^{\circ}\text{L}$)	50-60	100-150
α -Amilasa (UA/min)	Trazas	35-45
Actividad proteolítica (U/mg de proteína)	Trazas	15-20

Elaboración propia a partir de: (Ruíz, 2006 y García, 2011)

3.5.2 Distribución y producción.

En México se produce en promedio un millón de toneladas de cebada al año, de las cuales 800 mil se canalizan a la industria de la malta y el resto va para al sector pecuario, figura 8.

En 2010, 16 entidades sumaron un volumen de producción de 699 mil toneladas de grano de cebada en el país, materia prima con la que se obtuvieron 627 mil toneladas de malta. Los productores de cebada abastecen a 11 entidades que cuentan con plantas de producción de cerveza, entre ellas: Baja California, Coahuila, Distrito Federal, Estado de México, Jalisco, Nuevo León, Oaxaca, Sinaloa, Sonora, Veracruz y Zacatecas. La siembra de cebada se realiza en entidades del país, cómo Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Estado de México, Querétaro, Guanajuato, Michoacán, San Luis Potosí, Zacatecas y Durango, entre otras. (SAGARPA, 2012)

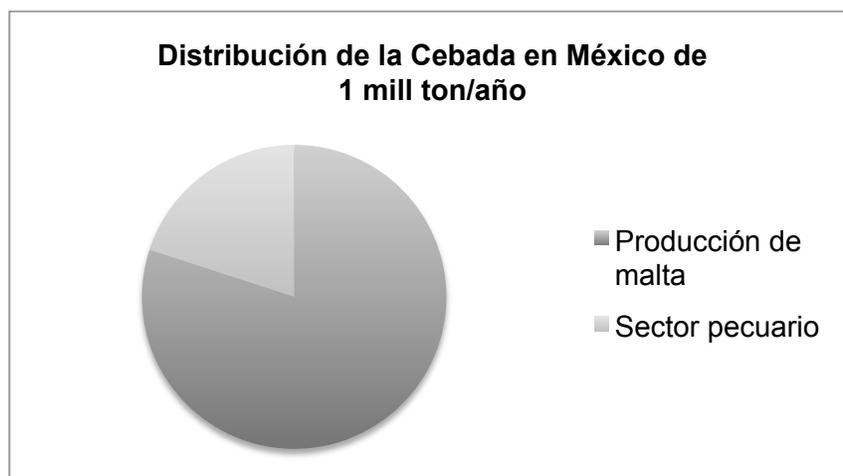


Fig. 8 Distribución de la Cebada en México de 1 mill ton/año. Elaboración propia a partir de: SAGARPA, 2012

En el 2012, impulsora Agrícola, compañía dedicada a promover y mejorar el cultivo de cebada maltera en México, celebró un convenio de coordinación con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) para adoptar el modelo de trabajo del programa Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional (MasAgro). Este modelo que coordina la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y el CIMMYT, se

basa en la investigación, desarrollo y transferencia de conocimientos y tecnologías que buscan incrementar la producción nacional de maíz y de cereales de grano pequeño, como el trigo y la cebada, en forma sustentable. (SAGARPA, 2012)

El Convenio MasAgro – Impulsora Agrícola se aplicará principalmente en las regiones de Bajío (Guanajuato, Querétaro), Valles Altos (Estado de México, Hidalgo, Puebla y Tlaxcala) y Zacatecas en donde se produce gran parte de la cebada maltera que requiere la industria cervecera establecida en México.

La industria maltera mexicana tiene más de 54 años de existencia y se desarrolla principalmente el Altiplano Central y la región de Bajío del país. La cebada maltera representa en promedio 300 mil hectáreas de siembra a nivel nacional integrados más de 20 mil productores, que la comercializa al 100 por ciento, bajo contrato con la industria con una derrama económica de 2 mil 500 millones de pesos. En el Bajío, la rentabilidad promedio del cultivo aumentó tres mil 500 pesos por hectárea en el último ciclo productivo. (SAGARPA 2012). El último aumento en el precio de cebada maltera lo reportó la SAGARPA en el 2012 y fue de 3 mil 855 pesos a 4 mil 270 pesos la tonelada.

3.5.3 Usos y aplicaciones

Aunque puede consumirse de manera directa, a este grano se le da sobre todo un uso industrial y su cultivo está orientando principalmente a la producción de cerveza. La malta que se obtiene de la cebada también se usa en la fabricación de productos como el whisky, jarabes, sustitutos de café y algunos alimentos. Otros derivados de la malta son productos químicos y se agregan a los alimentos balanceados para ganado y aves de corral. (SiAP 2013)

En relación con los usos de la cebada en México, durante el periodo comprendido entre 1995–2000 se reporta un 60% para la elaboración de alimentos, fundamentalmente malta que se destina a la industria cervecera; 34% como alimento para ganado; 3% se estima en desperdicios; 2% para semillas y 1% para otros usos en alimentación humana, fig., 9. (COFUPRO, 2013)

La balanza comercial en este grano sigue siendo deficitaria debido a la creciente demanda de malta por la industria cervecera y como consecuencia, se presenta un incremento en las importaciones.



Figura 9. Comportamiento del consumo de cebada en México. Elaboración propia a partir de: (COFUPRO, 2013 y SiAP 2013)

Además de los usos del grano mencionados con anterioridad, el extracto acuoso de la malta seco y molido se filtra y se concentra (70 – 80 % de sólidos) para utilizarse como aditivo y saborizante para la producción de cerveza en escala pequeña o doméstica. (Laboratorio de Productos de Cereales y Leguminosas, 2013).

3.6 Amaranto.

El amaranto (*Amarantus hypochondriacus*) es un cultivo de origen mesoamericano, pero actualmente se encuentra distribuido en todo el mundo. A Europa fue llevado en los años 1600 como parte de las pruebas de la conquista del Nuevo Mundo. Existen algunos reportes de que en Asia y África fue cultivado en los años 1700.

Junto con el maíz, el frijol y la chía, el amaranto fue uno de los principales productos para la alimentación de las culturas precolombinas de América. Para los

Mayas, Aztecas e Incas el amaranto fue la principal fuente de proteína vegetal y se consumía como verdura y grano reventado. Además estuvo asociado a los ritos religiosos, a los dioses y a la visión cósmica de estas culturas. Con la llegada de los españoles a América y durante la Conquista, el amaranto fue eliminado de la dieta indígena por razones religiosas y políticas. La cultura del cultivo y consumo del amaranto casi desaparecen, solamente en los lugares más apartados de la conquista española se mantuvo la producción de amaranto. (Silva, 2007)

En 1979, la Academia Nacional de Ciencias y la FAO propusieron que debido a su alta calidad nutricional, el amaranto podría ser un grano con gran potencial para su explotación comercial, ya que el contenido de aminoácidos esenciales se aproxima a los valores mínimos establecidos por la FAO/WHO como óptimos en una dieta para humanos. Así, es bastante mejor que el de otras proteínas vegetales. (Juan, *et al.*, 2007)

El amaranto es una planta C4 y una de las pocas dicotiledóneas en las cuales el primer producto de fotosíntesis es un producto de cuatro carbonos. La combinación de características anatómicas y el metabolismo C4, da como resultado un incremento de la eficiencia del uso del CO₂ bajo una amplia variación de temperaturas y humedad que le permiten una mejor adaptación, considerándose un cultivo alternativo en lugares donde cereales y otros cultivos de interés comercial no pueden crecer. (Silva, 2007)

El Amaranto es una planta dicotiledónea del orden *Caryophyllales* perteneciente a la familia *Amaranthaceae* del género *Amaranthus*. Su nombre científico es *Amaranto Spp.* Es una planta de cultivo anual y como se muestra en la figura 11, puede alcanzar de 0.5 a 3 metros de altura. Posee hojas anchas y abundantes de color brillante, espigas y flores púrpuras, naranjas, rojas y doradas, además comprende hierbas anuales o perennes. La planta de amaranto tiene una panícula (panoja) parecida al sorgo con una longitud promedio de 50 centímetros a un metro. Esta panoja formada por muchas espigas que contienen numerosas florecitas pequeñas, que alojan a una pequeña semilla, cuyo diámetro varía entre 0.9 y 1.7 milímetros, representa el principal producto de la planta de amaranto con la que se elabora cereales, harinas, dulces, etc.



Fig 10. Planta de amaranto. Tomada de: Pinkloto, 2013

El ciclo vegetativo del amaranto tiene un promedio de 180 días, desde que germina hasta que la semilla alcanza su madurez. Es un pseudocereal, puesto que los pseudo cereales se definen como granos que tienen características similares a los cereales en cuanto a su composición y usos pero botánicamente no son miembros de la familia de las gramíneas. De hecho son dicotiledóneas con dos partes en la semilla o cotiledones, con el embrión adosado a una de ellas. Las semillas más conocidas como dicotiledóneas son las legumbres en las que una vez que se les quita la cobertura de las semillas (testa) los dos cotiledones son visibles y se separan fácilmente. (Conde, 2009.)



Fig 11. Semilla de amaranto. Tomada de: Ahtli, 2013

3.6.1. Composición química del amaranto.

El almidón de amaranto presenta características propias en cuanto a composición, tamaño y forma de los gránulos. Son relativamente pequeños (0.78 a 1.5 mm de diámetro) comparados con gránulos de otros almidones como los de el maíz (5 a 20 μm .) y arroz (3 a 8 μm) por lo que presenta mayor superficie de contacto por unidad de peso. Esta propiedad sumada a la presencia de amilo pectina y su

conformación morfológica le otorga características funcionales únicas, que ha permitido su aplicación en la industria alimentaria como sustitutos de grasas y en otras áreas de la Industria Química como en el papel, plástico, bio películas y farmacéutica. (Jane *et al.*, 1992; Hoover *et al.*, 1998).

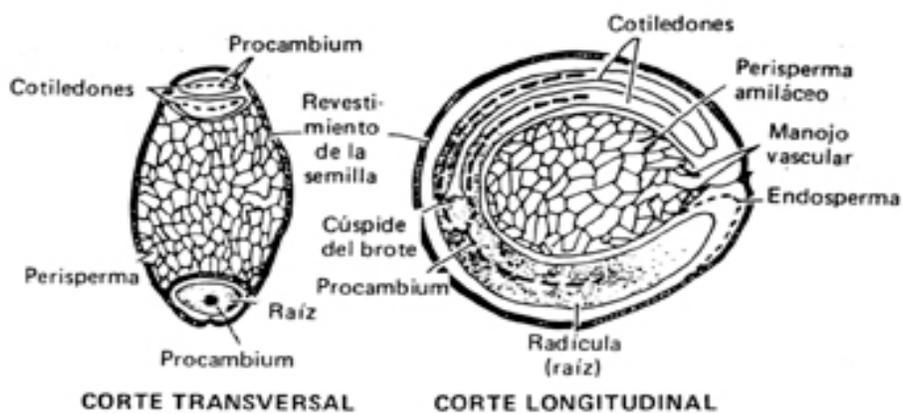


Fig 12. Corte transversal y longitudinal de la semilla de amaranto. Tomada de: Solano, 1993.

El índice de absorción de agua y el poder de hinchamiento son usados como indicadores de retención de agua, mientras que el índice de solubilidad indica el nivel de degradación de sus polímeros. El índice de absorción de agua es una medida indirecta del grado de almidón gelatinizado por la cocción.

Dadas las características del grano del amaranto se ha sugerido entre otras aplicaciones que la harina podría ser incorporada en la formulación de alimento infantil de bajo costo y con alto valor nutrimental, en sopas instantáneas, salsas y pastas. Sin embargo, son escasos los trabajos realizados sobre la aplicación o uso del almidón de amaranto (Bhosale, *et al.*, 2007; Kshirsagar *et al.*, 2008).

Tabla 12. Análisis proximal de la semilla de amaranto.

Componente	g/100
Carbohidratos	57.0
Proteína Cruda	17.9
Humedad	11.1
Grasa	7.7
Cenizas	4.1
Fibra	2.2

Elaboración propia a partir de: Silva, 2007

Aunque el principal componente de la semilla de amaranto son los carbohidratos, tabla 12, lo cual se consideró para el presente estudio, la semilla de amaranto ha llamado poderosamente la atención debido a su contenido de proteínas y por su composición de aminoácidos esenciales, tabla 13.

Tabla 13. Composición aminoacídica de *A. hypochondriacus*.

Aminoácido	g/100 g proteína	Requerimientos de aminoácidos esenciales (mg/g proteína) propuestos por la FAO
Ácidoc. Glutámico + Glutamina	18.1	
Ácido aspártico + Asparagina	12.9	
Glicina	11.4	
Serina	10.7	
Arginina*	8.5	
Leucina*	6.4	6.6
Lisina*	5.0	5.8
Alanina	4.3	
Treonina*	4.2	3.4
Valina*	3.6	3.5
Fenilalanina*	3.5	
Isoleucina*	2.8	2.8
Triptófano*	2.7	1.1
Tirosina	2.3	6.3
Histidina*	1.8	1.9
Cisteína	1.3	
Metionina*	0.4	

Elaboración del autor: Juan, *et al.*, 2007. *Aminoácidos esenciales

Para la Industria Alimentaria las proteínas presentes en el alimento deben de mostrar una relación entre la estructura y sus propiedades funcionales.

Estas proteínas se encuentran en la semilla de amaranto como proteínas en cuerpos proteínicos (a menudo contienen reservas menores, fitina, fuentes de fosfatos y micronutrientes).

Se ha reportado que la mayor parte de las proteínas de amaranto se encuentran en el embrión, anillo que rodea al perispermo almidonoso. Las proteínas almacenadas en estos cuerpos proteínicos son denominadas proteínas de reserva. En su mayoría son oligoméricas y las holoproteínas están compuestas desde dos a muchas subunidades. Las subunidades pueden contener dos o más cadenas de polipéptidos las cuales pueden estar unidas por puentes de hidrógeno o puentes disulfuro entre los residuos de cisteína.

La fracción proteica de la semilla de amaranto está constituida principalmente por albuminas, 7S globulinas, 11S globulinas, globulinas –P y glutelinas las cuales se podrían considerar como adecuadas para mostrar las propiedades funcionales y estructura de las proteínas. (Silva, C., 2007; Conde, *et al.*, 2009) En cuanto a vitaminas y minerales (tabla 14), la semilla de amaranto representa una atractiva propuesta alimentaria debido a la proporción adecuada de estos nutrimentos, incluso superior a otros cereales.

Tabla 14. Vitaminas y minerales presentes en semilla de amaranto

Vitaminas	mg/100g	Minerales	mg/100g
Vitamina C	4.2	Fósforo	500
Tiamina	0.300	Hierro	455
Riboflavina	0.230	Potasio	366
Niacina	1.450	Magnesio	266
Vitamina E	1.3	Calcio	247
Á. fólico	49	Zinc	3.18
		Manganeso	2.26

Elaboración del autor: Hernández, 1996

3.6.2 Distribución y producción

La familia *Amaranthaceae* reúne cerca de 60 géneros y más de 800 especies cuyas características cambian notablemente, dependiendo del ambiente en el que crecen, lo que dificulta la identificación de la planta. Existen tres especies

de amaranto que son cultivadas para la producción de semillas comestibles y son las más apreciadas:

- a) *Amaranthus caudatus*: se cultiva en la región de Los Andes y se comercializa como planta de ornato principalmente en Europa y Norteamérica.
- b) *Amaranthus cruentus*: es originaria de México y Centroamérica, donde se cultiva principalmente para obtener grano. También se consume como vegetal y
- c) *Amaranthus hypochondriacus*: procedente de la parte central de México, se cultiva para obtener grano. Es la especie a la que se refiere este trabajo.

Aunque el amaranto es un cultivo de origen mesoamericano, actualmente se encuentra distribuido en todo el mundo. Los primeros reportes de amaranto en Europa datan del siglo XV. La planta fue llevada como parte de las pruebas de la conquista del nuevo mundo y era principalmente utilizada como planta de ornato. Hay algunos reportes de que el amaranto fue cultivado por primera vez en Nepal y en África del Este por los años XVI y su cultivo fue extendido a Asia Media y Asia Oriental.

El principal productor mundial de amaranto es la India, en particular en el valle de Sutlej y el estado de *Himachal Pradesh*. En América del sur, Perú es uno de los más importantes países productores. (Silva, 2007)

Las zonas de producción y cultivo de amaranto son las mismas de la época precolombina. De acuerdo con cifras del Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, en los últimos diez años Puebla es el mayor productor de amaranto en México, con una cantidad superior a las 2455 ton/ año. Le sigue Morelos, Estado de México, Tlaxcala y Distrito Federal, tabla 15.

Tabla 15. Principales estados productores de amaranto en los últimos diez años, (ton/año)

Estado	Puebla	Morelos	Estado de México	Tlaxcala	Distrito Federal
2000	3059	506	147	276	218
2001	3102.	437	598	283	257
2002	2123	144	132	344	177
2003	1320	258.	165	167	223
2004	2218	281	193	188	145.
2005	2140	221	194	190	172
2006	2334	334	293.	190	152
2007	2357	307	334	190	174
2008	2510	574	408	190	163
2009	3355	325	439	195	151
2010	2488	303.	490	192	164
2011	2493	284	371	184	176
Promedio	2455	331	314	215	181

Elaboración propia a partir de : SAGARPA, 2012

En la figura 13 se muestra en nivel comparativo los datos de la producción nacional de amaranto, de donde se destaca que el estado de Puebla es el principal productor nacional de la semilla.

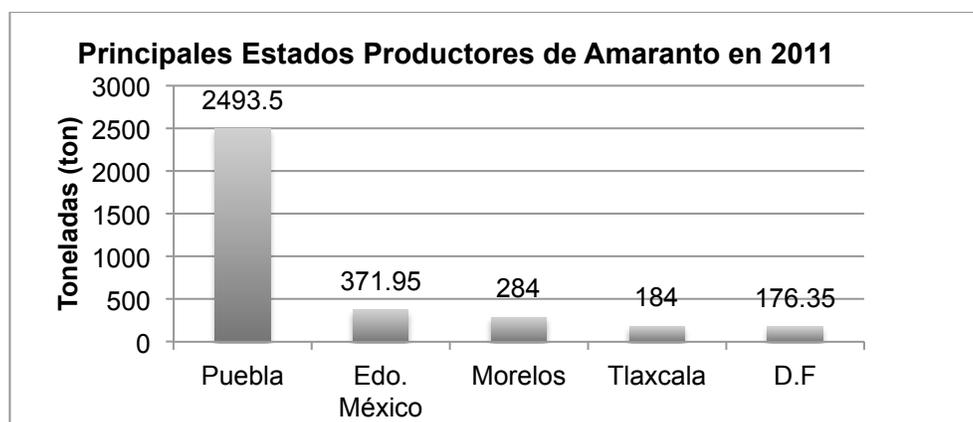


Fig. 13 Grafica de principales productores de amaranto en 2011 (ton/año). Elaboración propia a partir de: SAGARPA, 2012.

El grano utilizado para este estudio se obtuvo del mercado local del Distrito Federal siendo la principal zona de producción la delegación Xochimilco. La producción en Xochimilco es de 88 ton/año, seguido de Tláhuac con 69.60 ton/año y Milpa Alta con 18.75 ton/año, Fig.14.

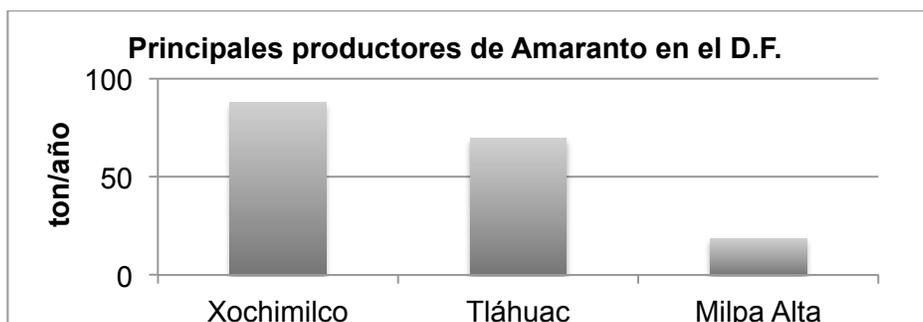


Fig. 14. Grafica de principales productores de amaranto en el D.F (ton/año). Elaboración propia a partir de: SAGARPA, 2012.

Con respecto al precio del amaranto por tonelada en el D.F se registró el más alto en el 2011 con aproximadamente 23 pesos/kg, seguido de Morelos, Estado de México, Tlaxcala y Puebla. Fig. 15

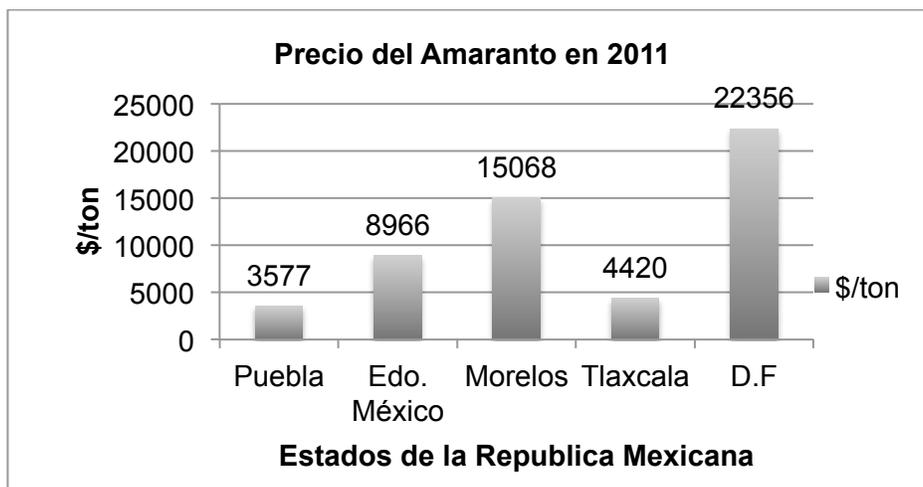


Figura 15. Costo por tonelada de amaranto en pesos mexicanos (\$/ton). Elaboración propia a partir de: SAGARPA-SIAP, 2011.

3.6.3 Usos y aplicaciones

La planta de amaranto es un producto que se puede aprovechar integralmente ya que ofrece tanto granos como hojas comestibles, tiene

es el grano de amaranto. Al ser reventado por calor provee un cereal que puede ser utilizado para la preparación de alimentos conocidos como las “alegrías”, mazapanes, cereal reventado y harinas de amaranto. También se logran a través del amaranto productos industrializados como cereales enriquecidos para suplementación de dietas, harinas, concentrados, extrudidos, almidones, aceites y colorantes derivados del amaranto. Éstos sirven como insumos para otras industrias de alimentos y bebidas, cosmetología, farmacéutica, etc. Se utiliza como sustitutos de proteína animal por proteínas de amaranto para la alimentación de pollos, cerdos de engorda y desarrollo de nuevos productos. (Silva, 2007; Asociación Mexicana de Amaranto, 2012)

También se pueden fabricar películas comestibles para empaques de alimentos o en la preservación de granos en silos, aprovechamientos de otros componentes como lo es el almidón y en bio remediación de suelos contaminados con metales pesados o hidrocarburos cíclicos tóxicos. En algunos países se consume la planta en fresco ocupando el lugar de la acelga y la espinaca. Las hojas pueden utilizarse como especie forrajera para el ganado u otros animales, abonos para los cultivos y camas para los cultivos de vivero. (Asociación Mexicana de Amaranto, 2013)

Como se mencionó anteriormente, las semillas de amaranto tienen altos niveles de proteína y aminoácidos esenciales. Es considerado como alimento funcional ya que proporciona beneficios a la salud del consumidor por contener péptidos bioactivos.

Éstos se definen como péptidos que cuentan con alguna actividad biológica y están presentes en los alimentos ya sea de manera natural o son generados durante el procesamiento de los alimentos. Hasta ahora se han encontrado en la semilla de amaranto algunos péptidos bio activos como los de tipo *Lunasin* (sólo reportado en soya y cebada) con actividad anticancerígena; péptidos antivirales, antifúngicos y antimicrobianos los cuales combaten una gran variedad de bacterias Gram positivas y Gram negativas así como algunas levaduras y hongos. (Silva, 2007)

Científicos del CINVESTAV y de la Universidad Metropolitana-Iztapalapa, buscan prevenir o controlar las padecimientos cardiacos, renales y

identificada por ese grupo de científicos llamada amarantina, ésta contiene péptidos funcionales, antihipertensivos, los cuales bloquean una acción enzimática negativa que produce que la presión arterial se eleve, de esta manera se inhibe a la principal proteína de regulación de la presión arterial, que es la angioestina, lo que ayuda a bajar la presión. Por su alta calidad esta proteína puede llegar a competir con los fármacos antihipertensivos que existen en el mercado, pero sin producir efectos secundarios. Como la amarantina se encuentra de manera natural en el amaranto y con el simple hecho de comerlo se puede generar bienestar al organismo, se tengan o no problemas de hipertensión, lo cual se debe al alto nivel nutricional de esta proteína y a los valores nutraceuticos generales del amaranto.(CINVESTAV, 2013).

Por las propiedades nutritivas y los componentes del amaranto (proteínas, vitaminas, minerales, aminoácidos, fibra y grasas) es recomendado para prevenir y ayudar a curar afecciones como la osteoporosis, en diabetes *Mellitus*, obesidad, hipertensión arterial, estreñimiento, diverticulosis, insuficiencia renal crónica, insuficiencia y encefalopatía hepáticas. Como el grano de amaranto no posee gluten es factible se ser recomendado en alimento apto para celíacos. (AlimentariaOnLine, 2013)

Por todas estas cualidades, está considerado como uno de los productos más promisorios para cumplir la función de “producto nutraceutico” o “alimento funcional” debido a los beneficios que ayudan a mejorar la salud del cuerpo humano. Por lo tanto, el amaranto puede considerarse de acuerdo a la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos como funcional ya que califica dentro de los: “Alimentos modificados o que tengan un ingrediente que demuestre una acción que incremente el bienestar del individuo o disminuya los riesgos de enfermedades más allá de la función tradicional de los nutrientes que contiene” (SERNAC, 2012).

De igual modo podría considerarse como nutraceutico porque contiene principios activos calificados como medicinales y que se utilizarían para la mejora de la salud, mediante la prevención o tratamiento de una enfermedad. (Lockwood, 2007).

4. HIPÓTESIS

Si la semilla de amaranto contiene nutrimentos como proteínas, aminoácidos esenciales y es rico en vitaminas y minerales como el hierro, la elaboración de un producto fermentado donde se incorpore como materia prima combinado con la semilla de malta generará un producto con cualidades nutricias y sensoriales novedosas para el consumidor.

5. OBJETIVOS

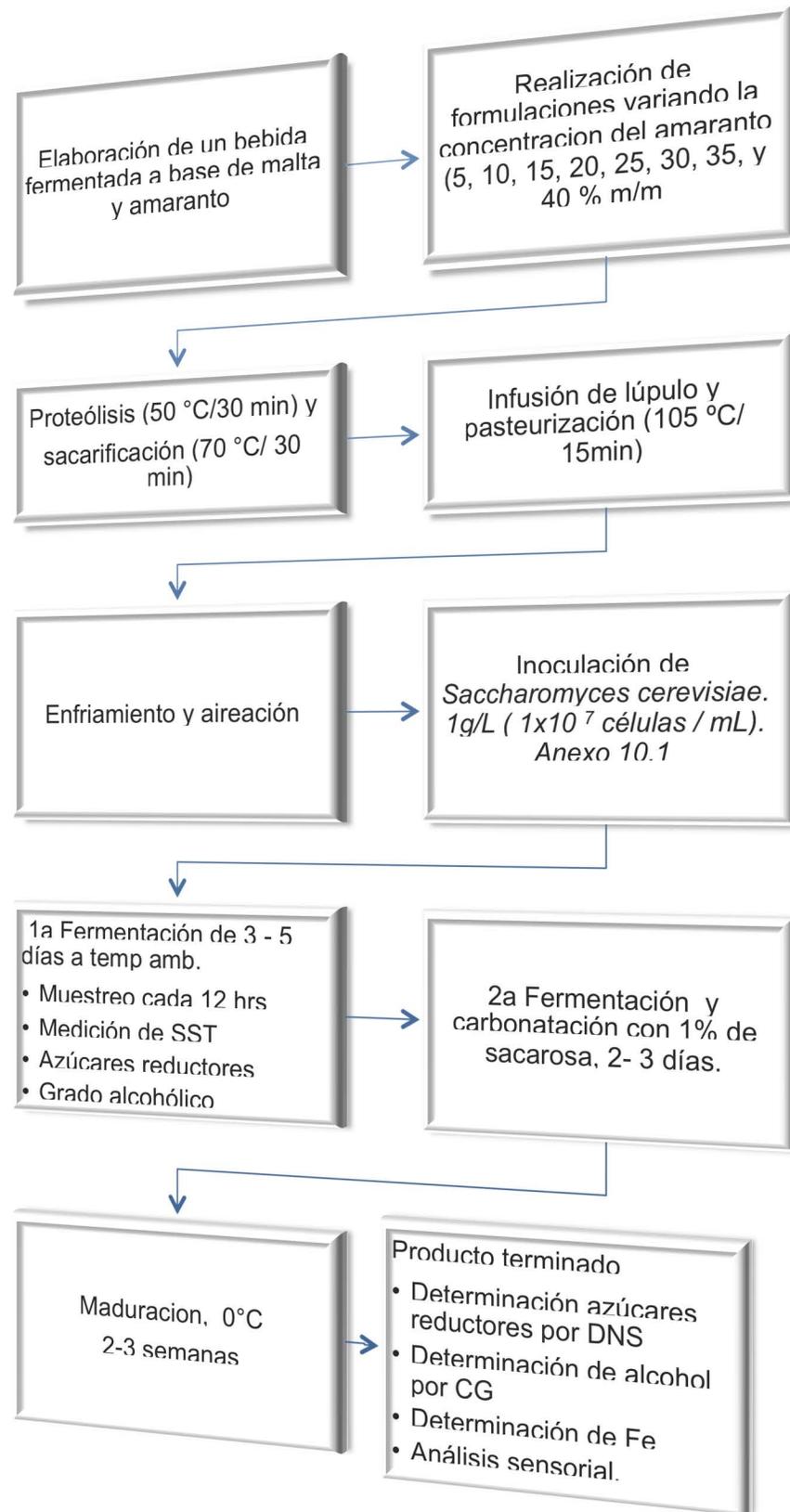
5.1 Objetivo General

Elaborar una bebida fermentada a base de malta (*Hordeum vulgare*) y semilla de amaranto (*Amarantus hypochondriacus*) con el propósito de presentar un producto en el cual se manifiesten las propiedades nutrimentales de ambos cereales.

5.2 Objetivos Particulares

- Utilizar un producto endémico mexicano, la semilla de amaranto integral como materia prima en la elaboración de una bebida alcohólica no destilada.
- Establecer protocolos donde la semilla de amaranto pueda ser utilizado en la industria cervecera como adjunto, para así darle otro canal de comercialización ya que se consume principalmente manera directa.

6. DIAGRAMA GENERAL



7. METODOLOGÍA

7.1 Determinación de azúcares reductores por el método del ácido 3,5 dinitro salicílico (DNS)

Fundamento: En disolución alcalina el azúcar se hidroliza produciendo un compuesto que reduce a un grupo nitro del DNS, para dar el producto monoamino correspondiente. Esta reacción da un producto colorido en solución alcalina. El original procedimiento de Dahlquist ha sido modificado en un proceso automatizado para análisis de azúcares totales producidos por la hidrólisis de polisacáridos que no contengan almidón. Para este se requiere tener estándares similares a la muestra. (Southgate, 1991)

La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:

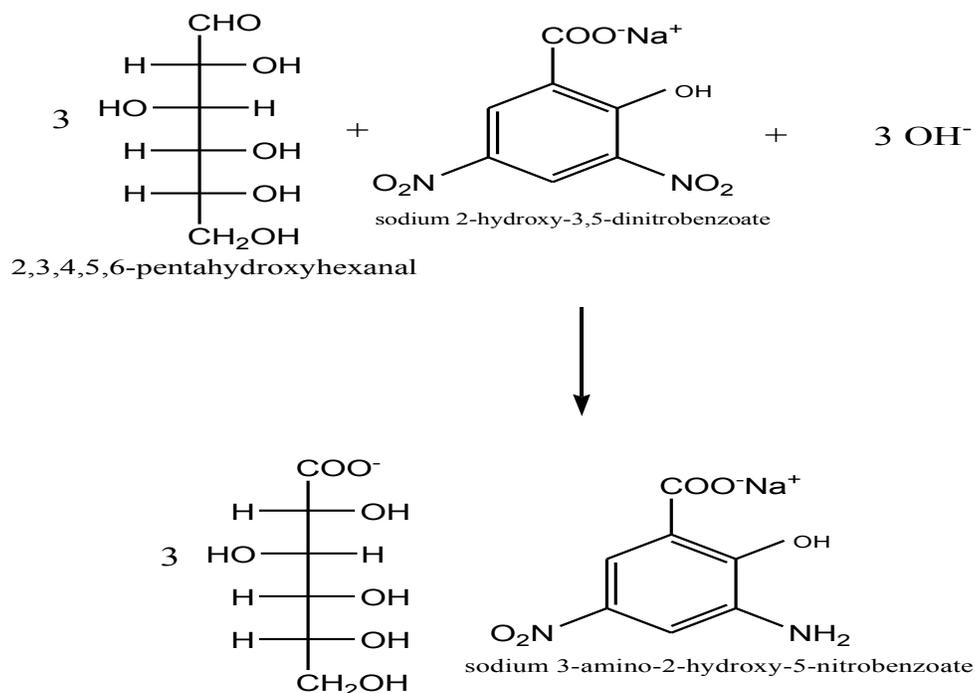


Fig. 16 Reacción de DNS, (Nielsen, 1998)

1. Tomar 1mL de la solución acuosa de la muestra, adicionar 1mL del reactivo de DNS y calentar por 5 min., en Baño María enfriar y diluir con 8 mL de agua destilada. Leer la absorbancia del color producido a 540 nm frente a un blanco de reactivos.

2. Medir la concentración de azúcares reductores interpolando los valores de absorbancia obtenidos en una curva estándar preparada con el carbohidrato reductor de interés en concentraciones de 0.2 a 2 mg de maltosa /mL. (Iturbe y Sandoval, 2011)

7.2 Concentración de sólidos solubles totales.

Los carbohidratos solubles totales se pueden cuantificar por medio de la refracción. Este fenómeno se da cuando la radiación electromagnética pasa de un medio a otro de diferente densidad y como consecuencia cambia de dirección o se refracta. La relación entre el ángulo de incidencia al seno del ángulo de refracción se llama Índice de Refracción (IR). El IR varía con la naturaleza del compuesto, la temperatura, la longitud de onda de la luz y la concentración del compuesto. Si las tres primeras variables se hacen constantes la concentración del compuesto se puede determinar midiendo el IR, de tal forma que el IR se utiliza para determinar sólidos totales en disolución. Los refractómetros pueden leer directamente en unidades de sacarosa. (Nielsen, 1998)

Los sólidos solubles totales se definen como la cantidad de sólidos solubles en gramos disuelta en 100g de líquido. El Refractómetro de campo Atago™ *Hand Refractometer N-1E Brix* fig. 18, es un instrumento que permite conocer la concentración de una sustancia disuelta en agua. El refractómetro está calibrado para medir la concentración de sólidos disueltos en agua expresados como porcentaje de sólidos solubles totales (% SST) o ° Brix si el sólido disuelto es sacarosa.



Fig. 17 Refractómetro de campo Atago™ *Hand Refractometer N-1E Brix*

Medición de SST:

1. Colocar una o dos gotas de la solución acuosa en el prisma del refractómetro de campo adecuadamente calibrado y limpio.

2. Cerrar la tapa, suavemente, la muestra debe cubrir completamente la superficie del prisma.
3. Observar la escala a través de la “mirilla”.
4. Leer en la escala la intersección de los campos. En caso de que la separación de los campos no sea clara, ajustar moviendo la base del objetivo, fig.,17.
5. Eliminar la muestra del prisma, utilizando un papel suave húmedo.



Fig. 18 Escala para medir %SST y °Brix. Tomado de: Atago, 2013

7.3 Determinación de Etanol por Cromatografía de gases (CG)

Fundamento: La cromatografía es la técnica que separa una mezcla de solutos basada en la velocidad de desplazamiento diferencial de los analitos por una fase móvil (líquida o gaseosa) a través de un lecho cromatográfico que contiene la fase estacionaria, la cual puede ser sólida o líquida.

Tabla 16. Condiciones cromatográficas

Características del cromatógrafo	Condiciones cromatográficas
Cromatógrafo de gases Perkin-Elmer <i>Auto System</i>	Método: Estándar Externo (EE)
Columna Supelco Omegawax™ 250	Temperatura horno: 115°C
<i>Fused silica capillary column 30m x 0.25mm x 0.25um film thickness</i>	Temperatura inyector: 150° C
Detector FID (ionización de flama)	Temperatura detector: 200°C
	Flujo N ₂ : 45 mL/min

Elaboración propia a partir de: Fachverlag, 2003.

1. Preparar una disolución de etanol en concentraciones de 1, 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 % (v/v) para soluciones estándar.
2. Preparar una disolución de acetona o n-butanol como estándar interno que permita obtener una concentración del 6% (v/v) en cada uno de las disoluciones anteriores.
3. Preparar la muestra a analizar en concentraciones adecuadas para que se ajuste a los intervalos de concentración de la curva patrón.
4. Inyectar 0.5 o 1µL de cada una de las disoluciones estándar, así como de la disolución problema. (Fachverlag, H., 2003)



Fig. 19 Cromatógrafo de Gases Perkin-Elmer *Auto System*

7.4 Determinación de la concentración de hierro por método espectrofotométrico (Método AOAC 944.02)

La orto fenantrolina reacciona con el Fe^{2+} origina un complejo de color rojo característico (ferroína) que absorbe en las regiones del espectro visible a 505 nm. El Fe^{3+} no presenta absorción a esa longitud de onda y debe ser reducido a Fe^{2+} mediante un agente reductor como la hidroxilamina. (Iturbe y Sandoval, 2011)

La reducción cuantitativa de Fe^{3+} a Fe^{2+} ocurre en pocos minutos en un medio ácido (pH 3-4) de acuerdo a la siguiente ecuación:



Después de la reducción del Fe^{3+} a Fe^{2+} , se da la formación de un complejo con la adición de orto fenantrolina. En un medio ácido la orto fenantrolina se encuentra en su forma protonada (1,10-fenantrolin Fen^+).

La formación del complejo puede ser descrita por la siguiente ecuación: (La estructura química del complejo se muestra en la figura 20)

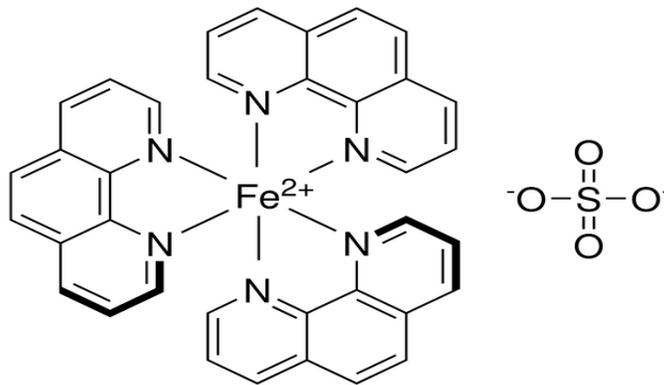
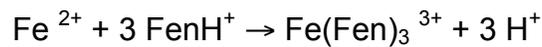


Fig 20. Estructura química de la ferroína. Tomada de: SIGMA-ALDRICH. 2013.

Consiste en 3 moléculas de OP (orto fenantrolina) alrededor de un átomo central de Fe. Los átomos de carbono de la ferroína están representados con sombras grises. Los átomos de N están representados en blanco.

Cuantificación del hierro: Tomar alícuotas de 10 mL. Desarrollar el color añadiendo en el siguiente orden: 1 mL de solución clorhidrato de hidroxilamina (al 10%) y agitar, 5 mL de buffer de acetatos (8.3 g de acetato de sodio anhidro y 12 mL de ácido acético en 100 mL) y agitar y 1 mL ortofenantrolina (0.1g en 80mL de agua destilada a 80°C, enfriar y aforar a 100 mL) y agitar. Dejar en reposo entre 10 y 15 min. Leer a 530 nm frente a un blanco preparado con agua tratada de la misma manera. Es muy importante añadir los reactivos en el orden descrito.

La concentración de hierro se obtiene interpolando en una curva patrón

$(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en agua con unas gotas de HCl y aforar a 500 mL, diluyendo 10 mL a 1 L) tratada de la misma forma, en concentraciones de 0.01 a 0.1 mg/mL de fierro. (Iturbe y Sandoval, 2011)

7.5 Determinación de aminoácidos libres por espectrofotometría.

El principio de este método se basa en que la muestra y una solución estándar de glicina, se calientan en presencia de ninhidrina a pH 6.7 y se miden las absorbancias a 570 nm frente a un blanco de reactivo.

Cuantificación de aminoácidos libres: Tomar 2mL de la muestra en un tubo de ensayo y agregar 1 mL de ninhidrina, tapar y colocar en un baño de agua hirviendo por 16 min., después enfriar en un baño de agua a 20°C por 20 min y leer absorbancia a 570 nm. (Fachverlag, H., 2003)

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

8.1 Determinación de azúcares reductores y sólidos solubles totales

Para la determinación de azúcares reductores se realizó la siguiente curva de calibración utilizando maltosa como azúcar reductor, Tabla 17.

Sol. Stock= 200mg maltosa/ 100mL H₂O = 2000 µg de maltosa / ml

** Tablas que muestran como resultado el promedio de los datos obtenidos para cada metodología realizadas por triplicado.

Vol. Stock (mL)	Vol.H2O (mL)	Concentración [µg/mL]	Vol. Total (mL)	Abs. 540nm Promedio	Concentración [µg/mL]
1	-	2000	1	2.10	2000
0.75	0.25	1500	1	1.65	1500
0.5	0.5	1000	1	1.16	1000
0.25	0.75	500	1	0.57	500
0.1	0.9	200	1	0.31	200
0	0	0	0	0	0

**Tabla 17. Datos para la curva de calibración de azúcares reductores por DNS.

Se generó la curva de calibración figura 21, con la cual posteriormente se podrán calcular los azúcares reductores de las muestras elaboradas con diferentes porcentajes de amaranto, las cuales se formularon a partir de la cerveza elaborada con 100 por ciento de malta (formulación base de cerveza), tabla 18.

**Tabla 18. Formulación de cerveza 100% de malta

Ingrediente	Cantidad (g)
Agua	1000
Malta	200
Levadura	1
Lúpulo (flor)	0.75

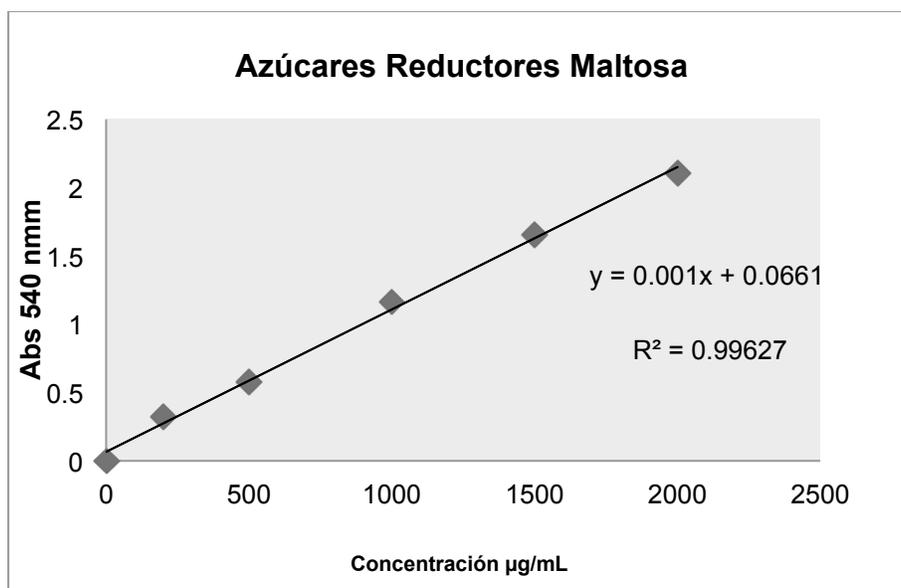


Figura 21. Curva de calibración de maltosa

Para establecer los cambios que ocurren durante el proceso fermentativo de las muestras elaboradas con diferentes porcentajes de amaranto tabla 19, se tomó como referencia los cambios que ocurren en la cerveza elaborada con 100% de malta, tabla 19.

**Tabla 19. Resultados de sólidos solubles totales y azúcares reductores para cerveza 100% malta.

Malta 100%			
Tiempo (h)	% SST	[$\mu\text{g}/\text{mL}$]	%Azúcares Reductores
0	12	38390	3.83
12	12	32290	3.22
24	11	29390	2.93
36	6.9	15669	1.56
48	6.6	14679	1.46

Para obtener el porcentaje de azúcares reductores se realizan los siguientes cálculos:

Ecuación de la recta obtenida en la curva de calibración:

$$y = 0.001x + 0.0661 \quad R^2 = 0.993$$

De esta ecuación despejamos x:

$$x = \frac{y - 0.0661}{0.001}$$

En la cual y = absorbancia a 540 nm de cada muestra.

Con los valores obtenidos de absorbancia a 540nm para cada tiempo tabla 19, se sustituyen en la ecuación despejada para obtener la concentración de azúcares reductores. Ejemplo de cálculo:

$$x = \frac{0.45 - 0.0661}{0 - 0.001} = 383.9 \mu\text{g}/\text{mL}$$

En el caso de que las lecturas de absorbancia que no se encuentren en el rango lineal de la curva de calibración, se hacen las respectivas diluciones y se toman en cuenta para el cálculo:

$$x = 383.9 \mu\text{g}/\text{mL} \times 100 = 38.390 \mu\text{g}/\text{mL}$$

Por último para obtener el porcentaje de azúcares reductores se hacen la sustitución de unidades correspondientes:

$$x = 38.390 \frac{\mu\text{g}}{\text{mL}} \left(\frac{\text{mg}}{1000 \mu\text{g}} \right) \left(\frac{\text{g}}{1000 \text{mg}} \right) (100 \%) = 3.839 \%$$

El porciento de sólidos solubles totales y de azúcares reductores azúcares

formulaciones. Este comportamiento es el esperado ya que se van agotando los azúcares reductores contenidos en los sólidos solubles totales para generar etanol. Se modificaron las concentraciones de amaranto originando ocho formulaciones diferentes. La formulación menos concentrada es de 5% de amaranto en incrementos del 5% hasta llegar a 40% m/m.

A continuación se muestran las tendencias de las ocho formulaciones en donde se midieron los sólidos solubles totales figura 22, y el porcentaje de azúcares reductores, figura 23. Se observa cómo ambas van disminuyendo al transcurso de la fermentación y entre ellas son similares pero no llegan a ser iguales, esto varía según la cantidad de amaranto añadido.

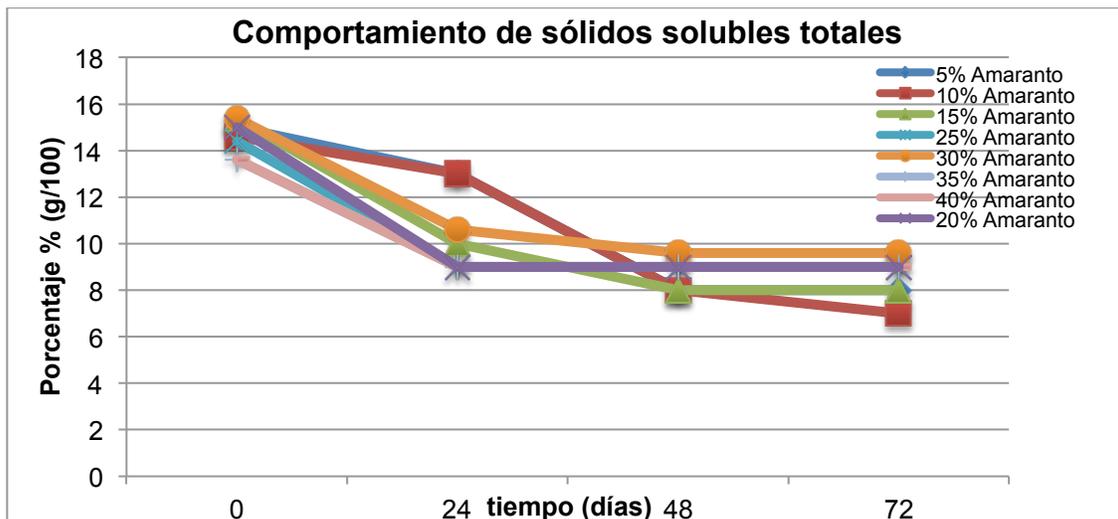


Fig. 22 Gráfica del comportamiento de sólidos solubles totales.

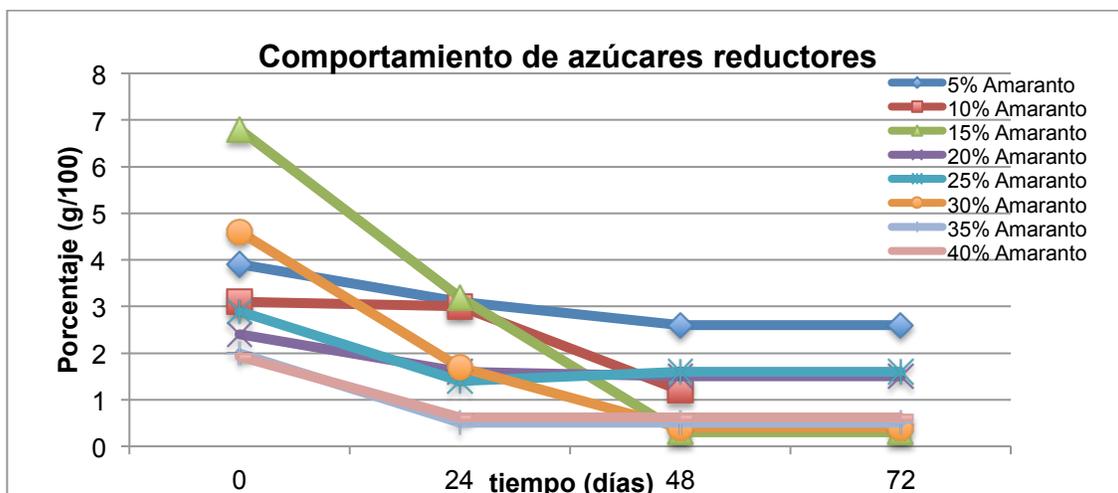


Fig. 23 Gráfica del comportamiento de azúcares reductores.

Las formulaciones fueron preparadas con diferentes porcentajes de amaranto los cuales iban aumentando de 5 en 5% hasta llegar a la cantidad máxima de 40% de amaranto. Ya que en México no existe ninguna normatividad respecto a la cantidad de adjuntos que se pueden agregar a la cerveza, se escogió 40 por ciento de amaranto como cantidad límite de adjunto porque así lo establece la Unión Europea (Fachverlag, H., 2003) y en la cual se consideró para otras determinaciones.

En otros países como E.U.A su legislación marca un contenido máximo de adjuntos de 60%, por lo que llegamos a realizar formulaciones con 45 y 50% de amaranto. Sin embargo, esas formulaciones fueron descartadas debido que a esos niveles de amaranto se obtenía menor volumen de mosto porque el amaranto posee una gran capacidad de absorción de agua. El extracto original cuenta con una gran cantidad de almidón de tipo ceroso formado por amilosa 1% y amilopectina en un 99% de su composición. Esta última molécula le confiere las características de alta viscosidad al almidón y como consecuencia una difícil extracción del mosto. Por lo tanto, la producción de esta bebida con contenidos mayores al 40% de amaranto no es viable ya que se obtendrían muy pocos rendimientos del mosto y por ende menos cantidad de la bebida fermentada (Silva, 2007)

Como se puede observar en todas las formulaciones hechas hay una disminución de sólidos solubles totales y de azúcares reductores en un rango de 15 a 7% y de 6.8 a 0.3% respectivamente para cada una de las muestras, lo cual presenta un comportamiento igual al de la cerveza de 100% malta, con esto se puede apreciar la similitud entre las dos bebidas fermentadas. Como se muestra en las figuras 22 y 23 no existe un aumento notorio de los sólidos solubles totales al agregar amaranto en comparación con la cerveza 100% de malta, tabla 19.

De igual forma el porcentaje de azúcares reductores a excepción de las formulación de 15% de amaranto ya que en comparación con las demás formulaciones y con la cerveza 100% de malta presenta un aumento de 3% en azúcares reductores. Este comportamiento podría deberse al contenido de almidón en la materia prima o por una sacarificación más eficiente en la formulación de 15% por lo que se esperaría tener una mayor cantidad de

8.2 Determinación de Etanol por Cromatografía de gases (CG)

El principal producto de la fermentación alcohólica es el etanol el cual le da a la bebida obtenida de malta y amaranto características especiales de olor, sabor, aroma y cuerpo, por lo que es importante su cuantificación. Aunque también se producen en menor cantidad otros compuestos, mencionados anteriormente como congénicos, los cuales influyen también en estas características.

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana Nom-142-SSA-1995. Bienes y Servicios. Bebidas Alcoholicas., la cerveza y bebidas fermentadas se consideran bebidas de bajo contenido alcohólico de 3 a 6 % (v/v). Según la legislación, en México y otros países las cervezas pueden contener de un 2 a 6% (v/v), pero existen otros países que aceptan cervezas de 6 hasta 18% (v/v), tal es el caso de E.U.A.

De acuerdo a la legislación mexicana es importante conocer el contenido de alcohol en la bebida de amaranto, para saber si encuentra en los límites permisibles de etanol y así pueda ser comercializada bajo esa denominación de cerveza o bebida fermentada.

La cuantificación de etanol se hizo por cromatografía de gases a través del método de estándar externo, para ello se realizó una curva estándar de etanol, inyectando los siguientes porcentajes de etanol y obteniendo las áreas correspondientes, tabla 20 .

Tabla 20. Datos promedio de tres determinaciones para curva de calibración de etanol.

% Etanol	Área Etanol
0	0
1	3983
2.5	10020
5	24536
7.5	36591
10	48378
12.5	58306

A continuación se muestra un cromatograma representativo de la curva de calibración de etanol fig 24 en el cual se puede notar el pico de etanol al 1

por ciento por lo que en los demás puntos de la curva aumenta el área del etanol al aumentar la concentración de este del 1 al 12.5 por ciento, por lo tanto se espera un comportamiento semejante para las muestras si es que el contenido de etanol aumenta al aumentar el contenido de amaranto en la bebida.

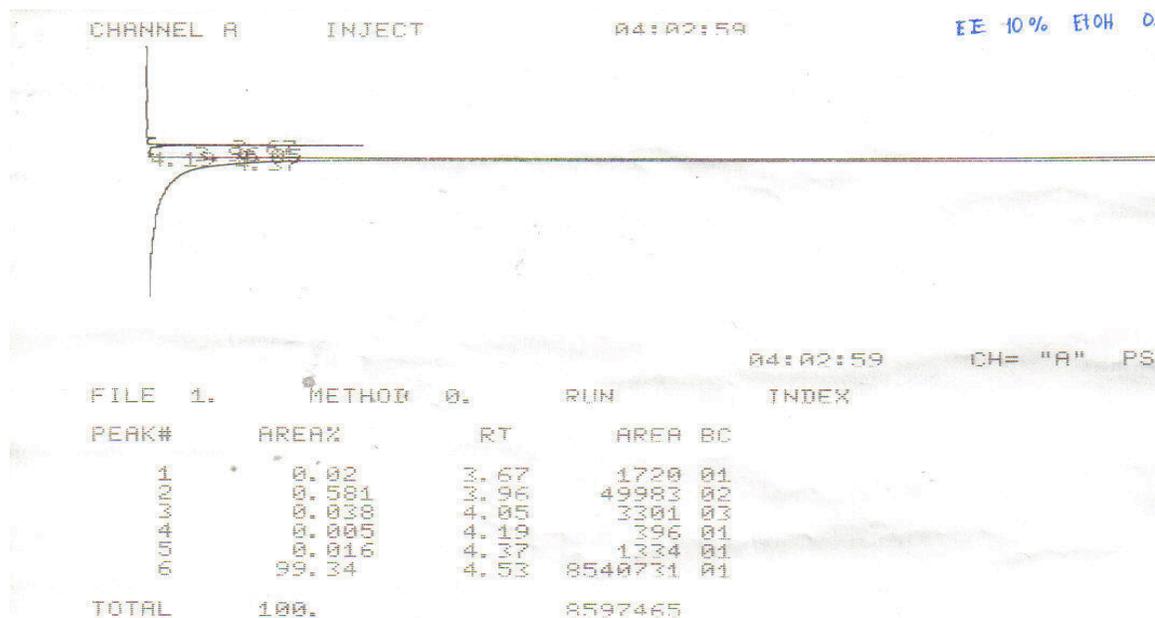


Fig. 24 Cromatograma típico curva de calibración (Ejemplo: 10% EtOH)

Con los datos obtenidos de los cromatogramas se realizó la curva de calibración, fig., 25 y con ella la ecuación de la recta para determinar el contenido de etanol en cada muestra:

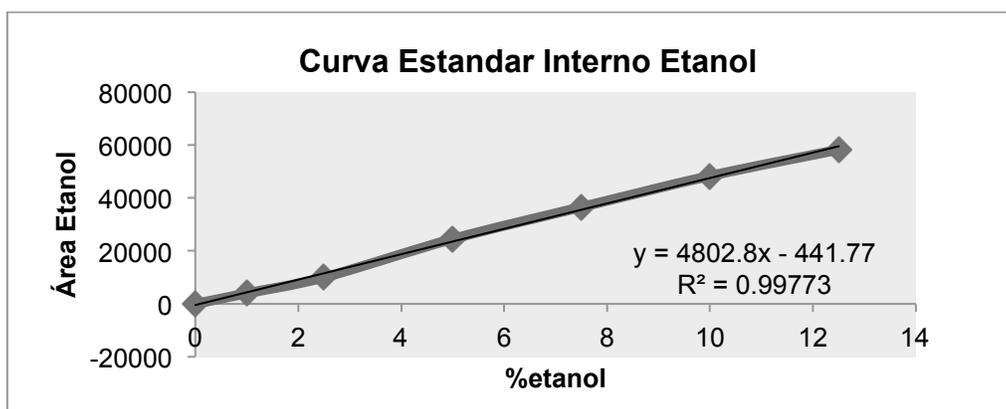


Fig. 25 Curva de calibración para determinación de etanol.

Para calcular el porcentaje de etanol en cada muestra se despeja la x de la ecuación obtenida:

$$y = 4802.8x - 441.77$$

$$x = \frac{y - 441.77}{4802.8}$$

Ejemplo para la muestra de 5% de amaranto:

$$x = \frac{25953 - 441.77}{4802.8} = 4.84$$

Los resultados para las demás formulaciones se muestran en la siguiente tabla :

% Amaranto	Área Etanol	% etanol EI
5	23676	4.84
10	20962	4.27
15	32747	6.73
20	32525	6.68
25	27692	5.67
30	33370	6.86
35	23888.67	4.88
40	24208.67	4.95
100% Malta		4.1

Tabla 21. Resultados de la determinación promedio de de etanol en bebida de amaranto

Al obtener los cromatogramas de las muestras, como ejemplo se muestra el de 5 por ciento de amaranto, fig., 26 se obtuvo de 20962 a 33370 de área en general para todas las formulaciones por lo que al realizar los cálculos correspondientes comprobamos que la bebida esta en un rango de 4 a 6 por ciento de etanol como se observa en la tabla 21.

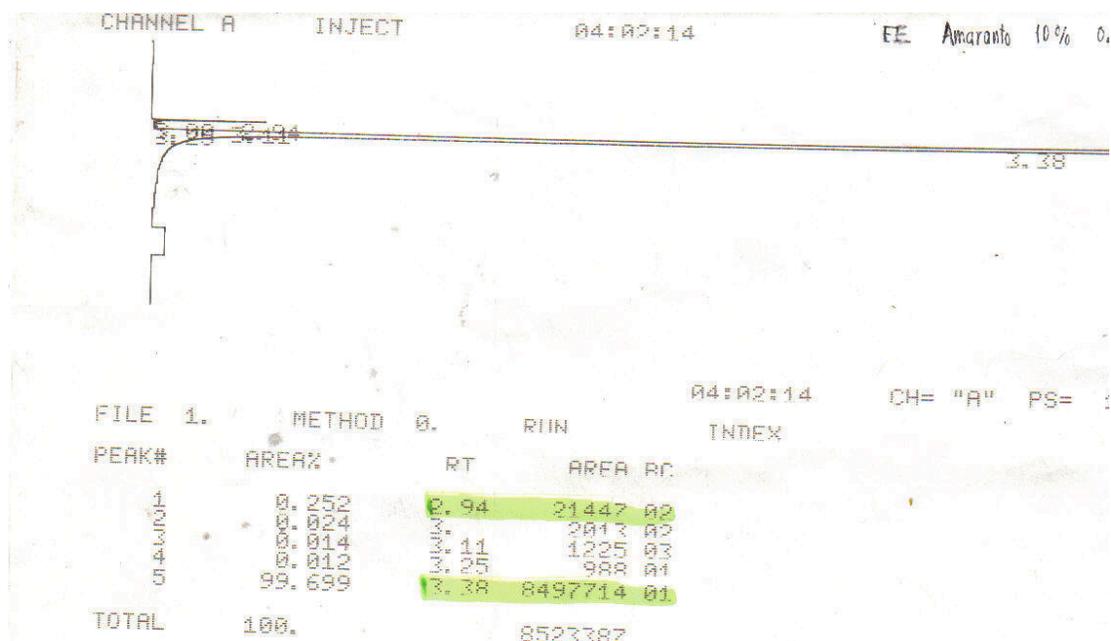


Fig 26. Cromatograma típico de la muestra (Ejemplo: 10% amaranto)

Ya que con esta técnica analítica cromatográfica se obtuvo el porcentaje de etanol en las bebidas realizadas es de 4 a 6%, se puede decir que las bebidas se encuentran dentro de las normas referidas anteriormente.

No se observa una relación entre el contenido de amaranto en la bebida y el aumento de la concentración de etanol obtenido. Cabe destacar que no se presenta una tendencia al aumentar el grado alcohólico conforme se agrega más cantidad de semilla de amaranto, ya que al comparar estos dos parámetros se obtuvo un coeficiente de variación de 0.008 lo cual nos indica que no existe correlación alguna. Pero si existe un aumento general en el grado alcohólico para las bebidas que contienen amaranto en comparación a una con 100 por ciento malta.

De acuerdo a la literatura al Centro de Información Cerveza y Salud cada gramo de etanol aporta 7 kcal por lo cual la cuantificación de alcohol en bebidas es importante porque es lo que se aporta a la dieta. Por lo tanto, la cerveza es una bebida natural y de bajo contenido en calorías (entre 20 y 30 Kcal por 100 mL) por lo que su consumo moderado puede ser benéfico y recomendable para cualquier dieta equilibrada. El consumo moderado de alcohol también conduce a una composición diferente del cuerpo, precisamente a una reducida proporción de grasa. (Posada, 1998)

En los últimos años se han dado todo tipo de medidas para definir lo que es un consumo moderado de alcohol por lo que el Centro de Información Cerveza y Salud lo refiere a una ingesta de aproximada de 10 g de alcohol diarios. El alcohol no afecta por igual a hombres y mujeres, por lo que esta medida varía según el peso y tamaño de las personas.

El consumo moderado de alcohol puede llegar a reducir hasta en un 60% el riesgo de lesiones coronarias. Así lo han demostrado estudios realizados en todo el mundo durante los últimos diez años, y que en su mayoría hablan de efectos protectores del consumo de alcohol en dosis muy moderadas. Se explica la relación entre corazón y alcohol de la siguiente manera: Los valores de HDL-colesterol (el llamado colesterol bueno) aumentan en relación con un consumo moderado de alcohol. Este aumento del *colesterol bueno* reduce los riesgos de enfermedades y accidentes cardiovasculares.

La oxidación del etanol de la cerveza es dos veces más rápido que el del vino y siete veces más rápido que el del Whisky, por lo que tiene un efecto diurético más alto que el agua y posee acciones estimulantes sobre el funcionamiento del hígado; además estimula la producción de bilis.

El grado alcohólico obtenido depende directamente de la cantidad de carbohidratos fermentables presentes en el mosto, los cuales son convertidos en etanol por la acción de la levadura *S. cerevisiae*, factor que fue monitoreado en cada lote, por lo que se obtuvieron los siguientes rendimientos de fermentación con la siguiente fórmula:

$$Y = \frac{P - P_0}{S_0 - S} (100)$$

Donde:

P = Producto final = % EtOH final

P₀ = Producto inicial = % EtOH inicial = 0 (siempre es cero ya que no se ha iniciado la fermentación)

S = Sustrato final = % Azúcares reductores finales

S₀ = Sustrato inicial = % Azúcares reductores iniciales

A continuación se muestran los rendimientos de las fermentaciones para cada formulación tabla 22, en la mayoría de los casos a excepción de la cerveza con 10 por ciento de amaranto, se obtuvieron rendimientos más altos (arriba del 70 por ciento) en comparación con la cerveza elaborada únicamente con malta. Debido a que en algunas formulaciones los rendimientos son mayores al 100 por ciento tal es el caso de 20, 25 y 30 por ciento de amaranto, esta situación puede deberse a la complejidad del medio de producción en el cual subsisten una serie de azúcares reductores no nada más la maltosa la cual se tomo como referencia. Otra explicación puede deberse a la solubilidad de las especies reductoras debido a la viscosidad del medio como se mencionó con anterioridad.

Tabla 22. Rendimiento de la fermentación.

% Amaranto	% Azúcares reductores iniciales	% Azúcares reductores finales	% EtOH final	% Rendimiento
5	15	8	4.8	70
10	14.6	7	4.3	50
15	15.4	8	6.7	90
20	15	9	6.7	110
25	14.4	9.6	5.7	120
30	15.4	9.6	6.9	120
35	13.6	9	4.9	90
40	13.6	9	4.9	90
100% Malta	12	6.6	4.1	70

8.3 Determinación de la concentración de Hierro

Los principales minerales contenidos en el amaranto como se mostró previamente en la tabla 14 son el hierro, calcio y potasio. Por esta razón se decidió seleccionar la determinación de hierro porque se consideró que su aporte nutrimental es de los tres más significativos.

Para calcular la concentración de hierro en la bebida, se hizo una curva de calibración con sulfato ferroso amoniacal. En la bebida de referencia formulada con 100 porciento de malta la cantidad de hierro (0.9 µg/mL) la aporta principalmente ese grano. Mientras que el aporte de hierro en las demás formulaciones lo provee principalmente del grano de amaranto.

Tabla 23. Datos obtenidos para la Curva de calibración de hierro.

Vol Stock	Vol H ₂ O	[µg/mL]	Vol Total	Promedio
10	0	100	10	0.507
7.5	2.5	75	10	0.438
5	5	50	10	0.297
2.5	7.5	25	10	0.174
1	9	10	10	0.063

La cantidad de hierro que aporta el agua en es promedio de 17 µg/mL y por diferencia se puede cuantificar el aporte o pérdida de hierro en la bebida final. Ya que la NOM-127-SSA1-1994 de agua para consumo humano reporta una cantidad límite permisible de hierro en 30 µg/mL y puede que la cantidad de hierro en el agua, si es que ésta sobrepasa el límite permisible de hierro, intervenga en la cuantificación del hierro que aporta el amaranto en la bebida.

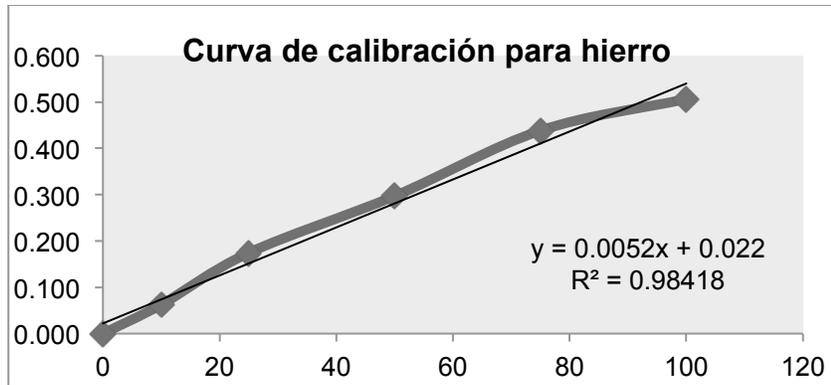


Fig 27 .Curva de calibración promedio de hierro

Ecuación de la recta obtenida:

$$y = 0.0052x + 0.022 \quad R^2 = 0.98418$$

De esta ecuación x:

$$x = y - 0.022 / 0.0052$$

En la cual y = Abs. 530 nm de cada muestra

Con los valores obtenidos de Abs. 530nm para cada formulación, tabla 24 se sustituyen en la ecuación despejada para obtener la concentración de hierro en la bebida final.

Ejemplo de cálculo para la muestra de

5% Amaranto:

$$x = 0.079 - 0.022 / 0.0052 = 11.0 \mu\text{g/m}$$

Tabla 24. Concentración de hierro para cada formulación.

Por ciento Amaranto	Fe [µg/mL]
5	11.0
10	15.8
15	17.9
20	16.3
25	66.0
30	42.7
35	49.0
40	32.7
100% malta	0.9

En los resultados se nota como el contenido de hierro en las bebidas con amaranto, presentan una mayor cantidad de este mineral que la bebida elaborada con 100% de malta. Si se compara el contenido de hierro de la bebida a base de malta/ semilla de amaranto con respecto a las cervezas industriales también es superior. Los últimos estudios revelan una cantidad de hierro en diferentes tipos de cerveza van de 41 a 165 ppb. (Sancho, et al. 2011)

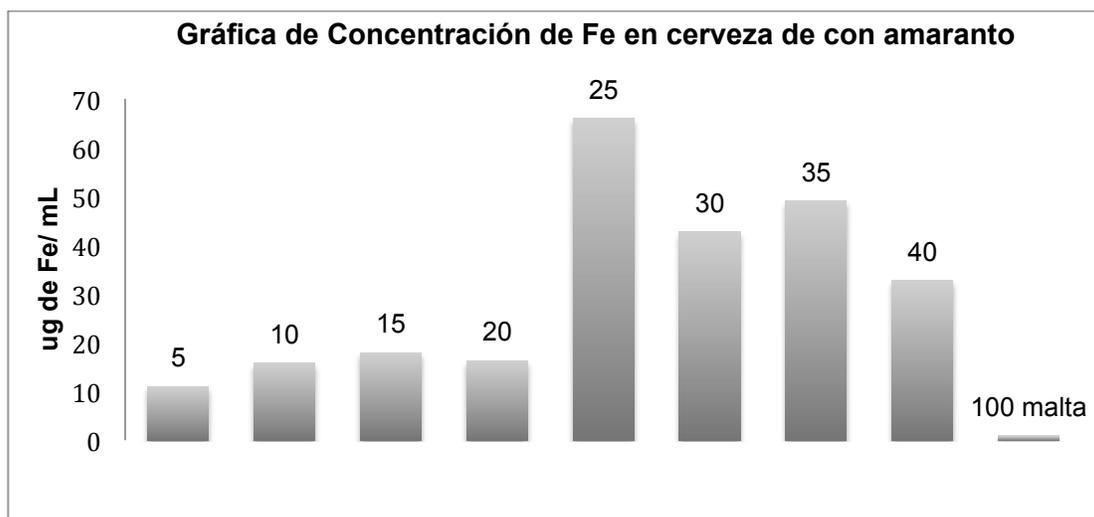


Figura 28. Concentración de Fe en bebidas de amaranto

Debido a que se presenta una relación entre la concentración de semilla de amaranto y la concentración de Fe, se esperaría que conforme se incrementa la concentración de ésta, la cantidad de hierro también aumente. Sin embargo, al parecer el sistema tiene un límite atribuible probablemente a la solubilidad de este metal y qué contracciones se encuentran involucrados en el medio.

De los resultados obtenidos se puede decir que la bebida desarrollada en estos laboratorios contribuye considerablemente en el aporte de hierro en la dieta. Según la Facultad de Medicina de la UNAM recomienda una ingesta diaria de hierro de 10 mg para infantes, 15-10 mg para niños, 15 y 10 mg para mujeres y varones púberes y adultos respectivamente, 30 mg para mujeres embarazadas y 15mg para lactantes. FACMED UNAM, 2013

Por lo anterior es necesario conocer el contenido de hierro en los alimentos debido que desempeña un papel importante como un catalizador en la oxidación de compuestos orgánicos. Participa en la formación de la hemoglobina de más esta decir que transporta el oxígeno en sangre y que es importante para el correcto funcionamiento de la cadena respiratoria.

8.4. Determinación de Aminoácidos libres en cerveza por espectrofotometría.

La composición de aminoácidos determina las principales propiedades físicas y químicas de las proteínas como lo son: solubilidad y calidad nutricional propiedades funcionales como emulsificación, viscosidad, gelificación, elasticidad, sabor, etc.

Una cerveza comercial contiene cerca de 0.20 g de proteína por 100 g de cerveza, una parte de esa cantidad son directamente aminoácidos. Éstos realizan funciones metabólicas muy importantes. Están involucrados en la síntesis de proteínas, activación de enzima, en el control del pH del cuerpo y en la conversión de energía para su uso en los músculos. Las cervezas fabricadas exclusivamente de malta son más ricas en proteína y aminoácidos que las producidas con otros adjuntos como trigo, arroz, etc. Si se agrega un adjunto que también contenga una gran cantidad de proteína y con ellos su aporte todos los aminoácidos esenciales que se necesitan en la dieta diaria, se esperaría tener un mayor aporte cantidad de aminoácidos en comparación con una cerveza 100% de malta.

Se obtuvieron los siguientes datos tabla 25:

Tabla 25. Contenido de Aminoácidos libres en cerveza de amaranto

% Amaranto	Aminoácidos libres (mg/L)
5	134
10	136
15	274
20	84
25	85
30	121
35	83

En primera instancia se observa que el contenido de aminoácidos libres es mayor en las cervezas con amaranto que en la de 100% de malta. Se puede decir entonces que al agregar el amaranto como adjunto, se eleva la concentración de aminoácidos libres en el medio.

Por otro lado se observa que conforme aumenta la cantidad de amaranto la cantidad de aminoácidos libres tiende a disminuir a excepción de las formulaciones con 15 y 30 por ciento de amaranto. De igual forma que los resultados obtenidos del análisis del hierro, se presentan problemas de solubilidad en el medio de las formulaciones.

8.5 Análisis sensorial

Para encontrar las diferencias significativas entre las diferentes concentraciones de amaranto (de 5 hasta 40%) en cerveza de amaranto, se realizó un análisis de varianza de una vía con un alpha de 0.1 y una comparación múltiple de Tukey para un alpha de 0.1 con el software MINITAB versión 14.

Se calificó con la siguiente escala, tabla 26:

Tabla 26. Escala para atributos sensoriales.

Escala	Calificación
Me disgusta muchísimo	1
Me disgusta mucho	2
Me disgusta moderadamente	3
Me disgusta un poco	4
Me es indiferente	5
Me gusta un poco	6
Me gusta moderadamente	7
Me gusta mucho	8
Me gusta muchísimo	9

El enfoque para representar las diferencias significativas entre el promedio de los porcentajes de amaranto evaluados por distintos atributos, está representarlo por comparaciones múltiples de medias, donde se asigna una misma letra (de la a-f) cuando las formulaciones por cada atributo son iguales, como se muestra en la tabla 27, por ejemplo, para el atributo de color las

formulaciones de 5, 15 y 35 son semejantes por presentar la letra a, por otro lado las formulaciones 10, 25, 30 y 40 por ciento son semejantes por presentar la letra b y finalmente la formulación de 20 por ciento es diferente que todas las demás.

Del programa se obtuvieron los resultados de la tabla 27:

Tabla 27. Resultados sensoriales para cerveza de amaranto.

Atributos	Formulaciones de amaranto							
	5	10	15	20	25	30	35	40
Color	a	b	ac	f	bcd	bcd	acd	bd
Cuerpo	a	ab	c	bcd	cd	bcd	ce	cde
Aroma	a	b	c	a	c	cd	ad	c
Sabor	a	a	b	a	b	a	b	ab

* Valores (5 – 40) en porcentaje

La finalidad de esta prueba fue saber si cada atributo era diferente para cada formulación o si presentaba algún comportamiento que hiciera descartar formulaciones, es decir, si algún atributo presentaba la misma letra, por ejemplo en el caso de color para las formulaciones 25 y 30 por ciento, en cuestión de costos no sería necesario hacer la formulación de 30 por ciento para éste atributo ya que el consumidor detecta igual el atributo para la de 25 por ciento, por lo tanto tendríamos una disminución de costos.

Observamos que los atributos en las formulaciones de 10 al 40% de amaranto son diferentes para cada formulación, por lo que atribuimos este comportamiento a la manera en que se realiza esta bebida ya que su elaboración artesanal produce que cada cerveza sea diferente en color, cuerpo, aroma y sabor a pesar de que contengan el mismo porcentaje de amaranto, se puede manejar como producto único por lo que es difícil mediante el análisis sensorial llegar a una estandarización de la formulación, es por eso que los parámetros físicoquímicos nos son de gran ayuda para seleccionar el porcentaje de amaranto adecuado para finalmente establecer una formulación o un rango de formulaciones en las cuáles la adición de

etanol, hierro y aminoácidos libres que una cerveza elaborada al 100 por ciento de malta.

Por otro lado mediante el cuestionario utilizado y los puntajes obtenidos en esta prueba, se encontró que esta bebida presentada al público como cerveza de amaranto, si es del agrado del consumidor. Por lo que se pretende establecer una formulación a partir de los resultados fisicoquímicos y atributos sensoriales para que posteriormente probar una fórmula final y nuevamente probar si es del agrado del consumidor. Se espera un resultado positivo por los resultados obtenidos en esta prueba.

9. CONCLUSIONES

- Se obtuvo una bebida alcohólica fermentada a través de malta y amaranto, la cual puede ser llamada cerveza debido a sus características fisicoquímicas y sensoriales.
- Por sus propiedades, el amaranto se puede utilizar como un recurso para proporcionar a la población los requerimientos protéicos y de calorías necesarias, los cuales se obtienen de especies vegetales como el trigo, maíz, arroz, mijo, sorgo, papa, frijol, soya, entre otros.
- El amaranto puede ser considerado como adjunto en la industria cervecera porque además de ser más barato que la malta, tiene un gran aporte de carbohidratos y aminoácidos esenciales, lo cual le brinda a esta especie vegetal mexicana otro canal de comercialización además de los actuales que son que principalmente elaboración de dulces y alimento para ganado.
- Al agregar amaranto como adjunto en una cerveza en porcentajes de 5% a 40%, se obtiene una cerveza con mayor concentración de etanol en comparación con una elaborada 100 por ciento de malta.
- Al agregar amaranto como adjunto, hace que esta bebida aumente sus cantidades de hierro ya que la malta por si sola contiene bajos niveles de este mineral.
- Los aminoácidos libres contenidos en esta bebida se encuentran en mayor cantidad al agregar porcentajes bajos de amaranto como 5 al 15 por ciento.
- Debido a los diversos aportes para la salud, obtuvimos una bebida funcional y nutracéutica.

10. PERSPECTIVAS

Con las bebidas obtenidas se pretende establecer:

- La formulación final para crear una cerveza con amaranto, la cual puede entrar en un tipo de cerveza artesanal y/o *gourmet* .
- Obtener el valor nutrimental de esta bebida.
- Optimizar el proceso para lograr una mejor carbonatación.
- Mejorar algunas características fisicoquímicas como la espuma para mayor aceptación del consumidor.

11. ANEXO

11.1 Estandarización del inóculo mediante el conteo celular al microscopio (Cámara de Neubauer)

Se estandarizó el inóculo de la levadura *Nottingham Saccharomyces cerevisie* (*British Ale Yeast*) mediante el conteo directo utilizando la cámara de Neubauer cuyo fundamento es el siguiente:

Es un accesorio para contar células que se adapta al microscopio de campo claro o al de contraste de fases. Se trata de un portaobjetos con una depresión en el centro, en el fondo de la cual se ha marcado con la ayuda de un diamante una cuadrícula como la que se ve en la imagen. Es un cuadrado de 3 x 3 mm, con una separación entre dos líneas consecutivas de 0.25 mm. Así, el área sombreada y marcada L corresponde a 1 milímetro cuadrado. La depresión central del cubreobjetos está hundida 0.1 mm respecto a la superficie, de forma que cuando se cubre con un cubreobjetos éste dista de la superficie marcada 0.1 milímetro, y el volumen comprendido entre la superficie L y el cubreobjetos es de 0.1 milímetro cúbico, es decir 0.1 microlitro.

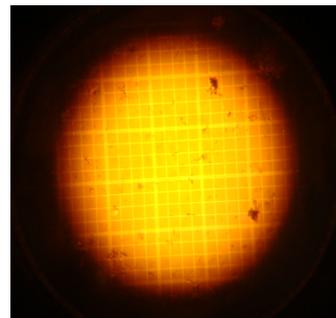
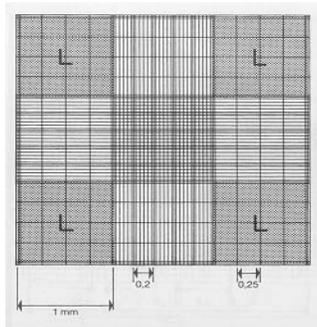


Figura 29 . Cámara de Neubauer

12. BIBLIOGRAFÍA

- Ahtli Alimentos Nutritivos S.A de C.V. *Amaranto*. Disponible a través de internet en: <http://www.achtli.com>
- Alimentaria OnLine. 2013. *Amaranto*. Disponible a través de internet en: <http://alimentariaonline.com/>
- Asociación Mexicana de Amaranto. 2012. *El amaranto un alimento con múltiples beneficios*. Disponible a través de internet en: www.amaranto.com.mx
- Atago. 2013. *Refractometro de mano*. Disponible a través de internet en: <http://www.atago.net>
- Beer Depot. 2013. *¿Cervexa artesanal? ¿Cerveza industrial?* Disponible a través de internet en: <http://beerdepot.com.mx/?tag=cerveza-artesanal-mexicana>
- Betschart, A., Wood, D., Shepherd, A. and Saunders, R. 1981. *Amaranthus Cruentus: Milling Characteristics, Distribution of Nutrients within Seed Components, and the Effects of Temperature on Nutrition Quality*. *Journal of Food Science* Vol, 46:1181–1187. Disponible a través de Wiley en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi>
- Bhosale, R. and Singhal, R. 2007. *Effect of octenylsuccinylation on physicochemical and functional properties of waxy maize and amaranth starches*. *Carbohydrate Polymers* Vol, 68:447–456. Disponible a través de internet en: <http://www.sciencedirect.com>
- Cardozo, A. 2013. *El desafío de las cervezas gourmet en México*. Disponible a través de internet en: www.revistapym.com.co

- Cerveza de Argentina. 2013. La cerveza en Mesopotamia. Disponible a través de internet en:
<http://www.cervezadeargentina.com.ar/articulos/historia3.htm>
- CERVEZA & BEER. 2013. *Definición de cerveza*. Disponible a través de internet en: <http://cervezaybeer.blogspot.mx>
- CINVESTAV Unidad Irapuato. 2013. *Superalimentos salud a la carta*. Disponible a través de internet en: <http://www.ira.cinvestav.mx>
- Club de las grandes cervezas del mundo. 2013. *Familia de las Lambic*. Disponible a través de internet en: <http://www.cervezasdelmundo.com>
- COFUPRO. 2013. Disponible a través de internet en:
<http://www.cofupro.org.mx>
- Conde, M., Scilingo, A. and Añón, M. 2009. *Characterization of amaranth proteins modified by trypsin proteolysis. Structural and functional changes*. Food Science and Technology Vol, 42: 963–970. Disponible a través de internet en: <http://www.sciencedirect.com>
- Daily Infographic. 2013, global-beer-production-and-consumption-infographic. *Global Beer Production and Consumption*. Disponible a través de internet en: <http://dailyinfographic.com/>
- Dendy D. y Dobraskzczyk B. “Cereales y productos derivados”, Ed. Acribia, S.A, Zaragoza, España 2001. pp: 403-421 y 453-455
- Díaz-Rubio, M. 2013. *El consumo moderado de bebidas fermentadas puede ejercer un efecto protector sobre enfermedades cardiovasculares*. Disponible a través de internet en:
www.portalesmedicos.com

- Domínguez, A., Villanueva, A., Arriaga, C. y Espinoza, A. 2011. *Alimentos artesanales y tradicionales: el queso Oaxaca como un caso de estudio del centro de México*. Disponible a través de sciELO en: <http://www.scielo.org.mx>
- EL GRAN CATADOR. 2013. *Los cinco países que producen más cerveza*. Disponible a través de internet en: <http://www.elgrancatador.com/>
- Fachverlag, H. *Analytica-EBC European Brewery Convention*, Ed. Nürnberg, Alemania 2003.
- FACMED Facultad de Medicina UNAM. 2013. Tablas de vitaminas y nutrimentos inorgánicos. Disponible a través de internet en: <http://www.facmed.unam.mx/>
- Food and Drug Administration FDA. 2012. *Guidelines for the evaluation of probiotics in food*. Disponible a través de internet en: <http://www.fda.gov>
- García, G. 2000. La Biotecnología en Producción de Cerveza. *Bebidas Mexicanas*. Vol, 9(3):12-16
- García, G. 2011. Malta y Cerveza, Cerveza. *Sacarificación*. Clases de la materia Malta y Cerveza impartido en la Facultad de Química, UNAM en el 2011.
- García Garibay, Quintero Ramírez y López Munguía. "Biotecnología Alimentaria", Ed. Limusa. México, 1993. Págs. 313 - 350
- Hernández Cordero y Chaparro Flores. "Tablas del Valor Nutritivo de los Alimentos", Ed. Pax, México 1996.

- Hoover, R., Sinnot, A. W., and Perea, C. 1998. *Physicochemical characterization of starches from Amaranthus cruentus grains*. *Starch*. 50:456-463.
- Hough, J. "Biotecnología de la Cerveza y de la Malta", Ed. Acribia, Zaragoza, España, 1990.
- IIEC Instituto de Investigaciones Económicas. 2013. *Producción de Alimentos y Bebidas*. Disponible a través de internet en: www.biblioteca.iiec.unam.mx
- INDUCERV. 2009. *La Cerveza, Reinheitsgebot ó Ley de Pureza*. Disponible a través de internet en: <http://www.apostol.com.co>
- Iturbe, F. y Sandoval, J., *Análisis de Alimentos Fundamentos y Técnicas*. UNAM, Facultad de Química, México 2011.
- Jane, J., Chen, L., Wang, L. and Maningat, C. 1992. Preparation and properties of small-particle corn starch. *Cereal Chem*. Vol 69: 280-283.
- Juan, R., Pastor, J., Alaiz M., Megías, C. y Vioque, J. 2007. Caracterización protéica de las semillas de once especies de amaranto. *GRASAS Y ACEITES Vol, 58 (1): 49-55*. Disponible a través de CSIC en: <http://digital.csic.es>
- Kshirsagar, A. and Singhal, R. (2008). Preparation of hydroxypropyl corn and amaranth starch hydrolyzate and its evaluation as wall material in microencapsulation. *Food Chemistry Vol, 108:958-964*. Disponible a través de internet en : <http://www.spkx.net.cn>

- Laboratorio de Productos de Cereales y Leguminosas. 2013. *Cebada. Producción de malta*. Disponible a través de internet en: Tecnología de cereales, Olga Velázquez Madrazo. AMYD. Facultad de Química. <http://depa.fquim.unam.mx/amyd/curso.php?curso=455>
- Lewis, M. and Young, T. "Brewing", Ed. Aspen publishers, Inc., Estados Unidos 1995.
- Lockwood, B. "Nutraceuticals", Ed. Pharmaceutical Press, 2ª ed., Gran Bretaña, 2007
- Metabolismo Bacteriano. 2013. *Glucólisis*. Disponible a través de internet en: <http://metabolismobacterianomg.wikispaces.com>
- SENARC, Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. 2012. *Alimentos funcionales*. Disponible a través de internet en: www.sernac.cl
- Nielsen, Z. "Food Analysis", Ed. Kluwer Academic Publications, 2ª ed., Nueva York, 1998.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 01-18-96. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- Norma Oficial Mexicana NOM-142-SSA1-1995. Bienes y servicios. Bebidas alcohólicas. Especificaciones sanitarias. Etiquetado sanitario y comercial.
- Ovinum. 2012. *Cervezas de fermentación espontánea o lambic*. Disponible a través de internet en: http://bloq.uvinum.es/etiqueta_cervezas-lambic

- Páez, V. 2010. *Bebidas Fermentadas*. Disponible a través de internet en: <http://es.scribd.com/doc/46013334/2010-Paez-Bebidas-fermentadas>
- Paliwal, R. 2013. *El maíz en los trópicos. Introducción al maíz y su importancia*. Disponible a través de internet en la FAO: <http://www.fao.org>
- Pérez., J. 2010. La Cebada, Morfología y taxonomía de la cebada. Disponible a través de internet en: <http://lacebada10.blogspot.mx>
- Pinkloto. 2013. *Amaranto, ¿es la solución?*. Disponible a través de internet en: <http://pinkloto.wordpress.com/>
- Posada, J., *Estudio recopilatorio "Cerveza y Salud"*. Centro de Información Cerveza y Salu. Madrid, 1998.
- PROFECO Procuraduría Federal del Consumidor. 2013. *Contenido Neto: La historia de la cerveza en México*. Disponible a través de internet en: www.revistadelconsumidor.gob.mx
- Quarin, S. 2011. *Adjuntos en la Cerveza*. Disponible a través de internet en: <http://www.somoscervecedores.com>
- Quorum Formación. 2013. *Historia de la Cerveza*. . Disponible a través de internet en: <http://historiacervezaquorum.blogspot.mx>
- RAE Real Academia Española. 2013. *Definición de gourmet*. Disponible a través de internet en: <http://www.definicion.de/gourmet/>
- Rastall, R. 2010. *Functional Oligosaccharides: Application and Manufacture*. Annual Review of Food Science and Technology Vol, 1:305–39. Disponible a través de Annual Review en: <http://www.annualreviews.org>

- Reina, L. 2013. *La cerveza gourmet gana adeptos y le disputa su reinado al vino*. Disponible a través de internet en: www.lanacion.com.ar
- Rodríguez, P., Pérez, E., Romel, G., y Dufour, D. 2011. *Characterization of the proteins fractions extracted from leaves of Amaranthus dubius (Amaranthus spp.)*. African Journal of Food Science Vol, 5 (7): 417 – 424. Disponible a través de CIRAD en: <http://publications.cirad.fr>
- Ruíz, F. 2013. *Alimentos Fermentados*. Disponible a través de internet en: Alimentos Fermentados. AMYD. Facultad de Química. http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/HistFer2_13348.pdf
- Ruíz, G. 2006. Elaboración y evaluación de maltas cerveceras de diferentes variedades de cebada (*Hordeum vulgare*) y producidas en los estados de Hidalgo y Tlaxcala. Trabajo de Investigación, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias e Ingeniería. México, Pachuca de Soto Hidalgo.
- SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2013. *Agricultura*. Disponible a través de internet en: www.sagarpa.gob.mx
- SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2012. *Principal proveedor de la industria cervecera nacional adopta MasAgro*. Disponible a través de internet en: www.sagarpa.gob.mx
- Sancho, D., Blanco, C., Caballero, I., y Pascual, A. 2011. Free iron in pale, dark and alcohol-free comercial lager beers. Journal of the Science and Food Agriculture Vol, 91:1142 –1147. Disponible a través de Wiley en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi>

- Santillan-Valverde, M. y García-Garibay, M. 2000. Producción de Congenéricos en la Fermentación de Cerveza. *Bebidas Mexicanas* 9(3):4-8
- SIGMA-ALDRICH. 2013. 1-10 fenantrolina u Ortofenantrolina. Disponible a través de internet en: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product>
- Silva, C. 2007. Caracterización fisicoquímica y nutracéutica de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) cultivado en San Luis Potosí. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ciencias, México, S. L. P.
- Solano. 1993. *Amaranto*. Disponible a través de internet en: <http://www.rlc.fao.org/>
- Southgate, D. y Greenfield, H., “Datos de composición de alimentos”, Ed. INFOODS, 2ª ed. FAO, 2003
- Standage, Tom. “La Historia del mundo en seis tragos”, Ed. Debate, Barcelona, Mayo 2006.
- SiAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2013. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible a través de internet en: www.siap.gob.mx
- The Beer Daily. 2013. *Reinheitsgebot, la ley de pureza alemana*. Disponible a través de internet en: <http://thebeerdaily.com>
- UDELAR, Universidad de la República Uruguay. 2013. *Tolerancia de la Levaduras al Etanol*. Disponible a través de internet en: <http://www.utu.edu.uy>