



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

División de Ciencias Biológicas y de la Salud

Departamento de Biotecnología

Tesis para la obtención del grado de:

Maestro en Biotecnología

“Elaboración y Caracterización Físicoquímica y Sensorial de
Cervezas Artesanales Elaboradas con Maíz Rojo”

Presenta

I.A. Darío Rafael Gómez Linton

Director

Dr. José Ramón Verde Calvo

Asesor

Dr. Héctor Bernardo Escalona Buendía

Julio, 2015



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Iztapalapa

Fecha : 27/07/2015
Página : 1/1

CONSTANCIA DE PRESENTACION DE EXAMEN DE GRADO

La Universidad Autónoma Metropolitana extiende la presente CONSTANCIA DE PRESENTACION DE EXAMEN DE GRADO de MAESTRO EN BIOTECNOLOGIA del alumno DARIO RAFAEL GOMEZ LINTON, matrícula 2133801931, quien cumplió con los 140 créditos correspondientes a las unidades de enseñanza aprendizaje del plan de estudio. Con fecha veintiocho de julio del 2015 presentó la DEFENSA de su EXAMEN DE GRADO cuya denominación es:

ELABORACION Y CARACTERIZACION FISICOQUIMICA Y SENSORIAL DE CERVEZAS ARTESANALES ELABORADAS CON MAIZ ROJO

Cabe mencionar que la aprobación tiene un valor de 40 créditos y el programa consta de 180 créditos.

El jurado del examen ha tenido a bien otorgarle la calificación de:

aprobado

JURADO

Presidente

DR. JOSE MARIANO GARCIA GARIBAY

Vocal

DR. MARIA DEL CARMEN FAJARDO ORTIZ

Secretario

DR. HECTOR BERNARDO ESCALONA BUENDIA

Vocal

M. EN F.P. FRIDA PURA MALPICA SANCHEZ

México, D.F. a 28 de Julio del 2015

El Jurado designado por la División de Ciencias Biológicas y de la Salud de la
Unidad Iztapalapa aprobó la tesis:

Elaboración y caracterización fisicoquímica y sensorial de cervezas artesanales
elaboradas con maíz rojo

Presentada por:

Darío Rafael Gómez Linton

Comité Tutorial

Director: Dr. José Ramón Verde Clavo

Asesor: Héctor Bernardo Escalona Buendía


Comité de Evaluación



Presidente: Dr. José Mariano García Garibay

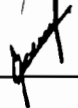
Secretario: Dr. Héctor Bernardo Escalona Buendía

Sinodal: Dr. Francisco Ruíz Terán

Sinodal: M. en F.P. Frida Pura Malpica Sánchez







La maestría en Biotecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana
está incluida en el Padrón Nacional de posgrado del CONACyT
y cuenta con el apoyo del mismo consejo.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma Metropolitana por darme la oportunidad de pertenecer a su comunidad una vez más, prestar las instalaciones, equipos y materiales para la realización del trabajo, y por los apoyos a la investigación.

Al Dr. Ramón Verde, por permitirme trabajar en el proyecto, por sus enseñanzas, su paciencia, su humor siempre relajado y accesible que alentaron siempre un ambiente de confianza y buena convivencia en el trabajo de laboratorio.

Al Dr. Héctor Escalona, por su apoyo y comprensión durante el trabajo sensorial, por nunca reclamar ni reprochar el que no pudiera realizar los análisis que se supone ya sabía muy bien correr, y enseñarme los que no sabía cómo hacer; por su infinita paciencia y explicaciones, y por siempre buscar la manera de atenderme a pesar de su tan apretada agenda, gracias Doc.

A los jurados de este trabajo, Dr. Francisco Ruiz, Dr. Mariano, Mtra. Frida, gracias por su buena disposición, su tiempo y sus comentarios.

A mis padres, en especial a mi mamá, por siempre alentarme a ser mejor, por enseñarme con el ejemplo, por apoyarme, escucharme y aconsejarme, por ser como es y haberme ayudado a ser como soy. Gracias ma, te amo.

A mis hermanos por el apoyo y cariño que siempre me han mostrado, créanme que a mi manera he intentado hacerlo también; por el interés que han mostrado en mi trabajo e incluso la ayuda que me han brindado para realizarlo. Los quiero.

A toda mi familia, que no deja de sorprenderme la calidad de personas que son, y para bien jaja, los quiero a todos y que felicidad poder ser parte de ustedes y que ustedes sean parte de mí.

Para Nataly, que me enseñó los trucos y secretos de la elaboración de cerveza y para Angélica, que me apoyo con gran parte del trabajo Sensorial, muchas gracias por su buena disposición.

A mis compañeros de laboratorio, que siempre fueron amables y dispuestos a ayudar, por compartirme sus experiencias, por los momentos de risas, y por la ausencia de momentos de riñas. Son personas geniales, los admiro a todos.

A mis amigos de la maestría, que a su manera comparten los mismos placeres y preocupaciones que yo, por ayudarme a llevarlos más fácil y permitirme ayudarlos a ellos. Gracias por todo lo compartido y lo que seguiremos compartiendo.

A la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación (SECITI) por el apoyo al proyecto por medio del Convenio SECITI/063/2013, y al CONACyT por la beca otorgada durante el tiempo que duraron mis estudios.

Resumen

La ingesta de líquidos para los seres vivos es una necesidad fisiológica. Y no sólo eso, sino que en importancia para la vida, beber siempre es más necesario que comer, por lo que las bebidas a lo largo de la historia han jugado un rol de mayor importancia que la comida, especialmente desde el descubrimiento de la fermentación, y después la destilación, que hicieron posible la aparición de bebidas alcohólicas como parte de las opciones de bebidas disponibles. Hoy en día la elaboración de cervezas, vinos y bebidas destiladas representa una de las principales actividades económicas, suponiendo una importante fuente de ingresos al gobierno a través de los impuestos, así como fuentes de empleo. La cerveza es una bebida fermentada por levaduras de la especie *Saccharomyces*, no destilada, elaborada a base de cereales, comúnmente cebada malteada, aromatizada con lúpulo. El proceso de elaboración de cerveza comprende los siguientes pasos: recepción y limpieza del grano, malteado del grano, molienda del grano, maceración del producto de molienda, cocción del mosto, fermentación, clarificación y maduración, envasado. Se realizó la elaboración de cervezas a partir de maíz rojo chalqueño malteado, en reemplazo de la materia prima comúnmente utilizada, cebada. Estas maltas de maíz fueron tanto malta base como maltas tostadas con distintas condiciones de tiempo-temperatura. Se determinaron parámetros físicos y químicos durante el proceso, tanto a las maltas como a las cervezas. Entre estos, el contenido de antocianinas, polifenoles totales y capacidad antioxidante fueron los más importantes para el trabajo. De igual forma se realizó un análisis descriptivo cuantitativo (QDA) de las cervezas elaboradas, así como la evaluación del nivel de agrado mediante escala hedónica. Se observó que los tratamientos de tostado producían la degradación de antocianinas, pero incrementaban los contenidos de polifenoles totales, así como la capacidad antioxidante, esto tanto en maltas como en las cervezas, a niveles estadísticamente distintos. Del QDA se obtuvo el perfil sensorial de cada una de las cervezas, y con las pruebas de nivel de agrado se determinó que las cervezas con maltas tostadas, en particular con condiciones de 170°C/60 min y 230°C/10 min fueron las más agradables para los consumidores.

Contenido

| | |
|---|--------|
| Resumen..... | iv |
| Introducción | - 1 - |
| Antecedentes | - 2 - |
| Historia de la cerveza | - 2 - |
| Proceso general de elaboración de cervezas | - 5 - |
| Malteado | - 5 - |
| Cocción del mosto | - 11 - |
| Fermentación | - 15 - |
| Características nutricionales de la cerveza | - 16 - |
| Polifenoles en la cerveza | - 20 - |
| Características sensoriales de la cerveza | - 21 - |
| Variedad y diversidad cervecera | - 23 - |
| Cerveza Artesanal en México | - 25 - |
| Uso del maíz en cervecería | - 27 - |
| El maíz rojo y sus compuestos bioactivos | - 29 - |
| La planta de maíz..... | - 29 - |
| Compuestos fenólicos en el maíz..... | - 31 - |
| Capacidad antioxidante..... | - 35 - |
| El chile guajillo..... | - 36 - |
| Evaluación sensorial en Cervezas..... | - 38 - |
| Justificación | - 41 - |
| Hipótesis..... | - 42 - |
| Objetivos | - 42 - |
| General..... | - 42 - |
| Específicos | - 42 - |
| Métodos | - 43 - |
| Elaboración de la cerveza..... | - 43 - |
| Tostado de las maltas..... | - 44 - |
| Análisis instrumentales | - 44 - |

| | |
|---|---------|
| Análisis del grano | - 44 - |
| Análisis del chile | - 47 - |
| Análisis del mosto | - 48 - |
| Análisis de la cerveza verde | - 49 - |
| Análisis de la cerveza madura | - 50 - |
| Análisis Sensorial | - 51 - |
| Análisis descriptivo cuantitativo (QDA)..... | - 51 - |
| Prueba de nivel de agrado (escala hedónica), comparación entre cerveza de malta base y cerveza con tratamientos de tostado..... | - 52 - |
| Prueba de ordenamiento, nivel de agrado (escala hedónica) y JAR para los 4 tratamientos de tostado | - 52 - |
| Prueba discriminativa entre tratamientos con más y menos chile..... | - 52 - |
| Resultados y Discusión | - 53 - |
| Caracterización del maíz rojo y maltas de maíz rojo. Humedad, Poder diastásico y Compuestos bioactivos | - 53 - |
| Caracterización del chile guajillo. Capsaicina y Compuestos Volátiles | - 58 - |
| Caracterización fisicoquímica de cervezas de maíz rojo y cervezas comerciales | - 61 - |
| Evaluación sensorial | - 70 - |
| Análisis Descriptivo Cuantitativo..... | - 70 - |
| Pruebas con consumidores | - 80 - |
| Conclusiones | - 87 - |
| Perspectivas | - 88 - |
| Referencias..... | - 89 - |
| Anexo 1. Estadístico | - 97 - |
| Anexo 2. Encuestas aplicadas..... | - 106 - |
| Anexo 3. Descriptores utilizados en el QDA..... | - 114 - |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1.- Desarrollo de la historia de la cerveza. ----- | 4 |
| Tabla 2. Compuestos producidos durante la reacción de Maillard.----- | 11 |
| Tabla 3.- Composición de nutrientes de la cerveza común comparada con otros alimentos líquidos comunes. ----- | 17 |
| Tabla 4.- Contenido de vitaminas típico en cervezas. ----- | 19 |
| Tabla 5.- Condiciones de tostado de maltas de maíz. ----- | 44 |
| Tabla 6.- Condiciones de tostado de las maltas. ----- | 54 |
| Tabla 7.- Valores obtenidos para las muestras, humedad y poder diastásico. ----- | 54 |
| Tabla 8.- Resultados de los contenidos de compuestos bioactivos en maíz y maltas. ----- | 55 |
| Tabla 9.- Tiempos de retención e índices de los compuestos probables de interés.----- | 60 |
| Tabla 10.- Cuantificación de capsaicina en cervezas y su equivalencia en unidades Scoville.----- | 62 |
| Tabla 11.- Resultados de la caracterización fisicoquímica de mostos de cerveza de maíz rojo en sus diversos tratamientos. ----- | 63 |
| Tabla 12.- Resultados de la caracterización fisicoquímica de cervezas verdes de maíz rojo en sus diversos tratamientos. ----- | 64 |
| Tabla 13.- Resultados de la caracterización fisicoquímica de cervezas maduras de maíz rojo en sus diversos tratamientos y cervezas comerciales. ----- | 64 |
| Tabla 14.- Resultados obtenidos de la cuantificación de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en las cervezas analizadas. ----- | 65 |
| Tabla 15.- Promedios de la calificación de los jueces, QDA, apariencia. ----- | 72 |
| Tabla 16.- Promedios de la calificación de los jueces, QDA, olor. ----- | 73 |
| Tabla 17.- Promedios de la calificación de los jueces, QDA, sabor. ----- | 74 |
| Tabla 18.- Promedios de la calificación de los jueces, QDA, sensación en boca. ----- | 74 |
| Tabla 19.- Ficha de estilo de la cerveza de malta base. ----- | 75 |

| | |
|---|----|
| Tabla 20.- Ficha de estilo de la cerveza con tostado 1. ----- | 75 |
| Tabla 21.- Ficha de estilo de la cerveza con tostado 2. ----- | 75 |
| Tabla 22.- Ficha de estilo de la cerveza con tostado 3. ----- | 76 |
| Tabla 23.- Ficha de estilo de la cerveza con tostado 4. ----- | 76 |
| Tabla 124.- Resultados de ordenamiento según nivel de agrado (posición 1, mayor agrado).----- | 81 |
| Tabla 25.- Prueba ranking para cervezas reformuladas. ----- | 84 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1.- Esquema general del proceso de elaboración de cerveza. ----- | 5 |
| Figura 2. Ruta general de la síntesis no enzimática de pigmentos. ----- | 10 |
| Figura 3.- Planta de lúpulo. ----- | 12 |
| Figura 4.- Estructura de los α (izq.) y β -ácidos (der.) presentes en el lúpulo. ----- | 13 |
| Figura 5.- Isomerización de los α -ácidos (humulonas). ----- | 14 |
| Figura 6.- Formación del sabor conocido como “golpe de luz”. ----- | 14 |
| Figura 7.- Relación entre el consumo de alcohol y riesgos de mortalidad o enfermedades.-- | 18 |
| Figura 8.- Ejemplos de algunos estilos de cerveza. ----- | 25 |
| Figura 9.- La planta de maíz. ----- | 29 |
| Figura 10.- Estructura y sustituyentes de las antocianinas. ----- | 33 |
| Figura 11.- Estructura general de los capsaicinoides. ----- | 37 |
| Figura 12.- Rueda de sabores de la cerveza. ----- | 39 |
| Figura 13.- Equipo utilizado para el tostado de las maltas. ----- | 44 |
| Figura 14.- Clasificación del chile guajillo según su tamaño. ----- | 58 |
| Figura 15.- Cromatogramas de los compuestos volátiles, chile guajillo (A), a la cerveza tratamiento 2 (B), cerveza tratamiento 3 (C). En rojo, picos de interés. ----- | 59 |

| | |
|---|----|
| Figura 16.- Cromatograma de la serie de alcanos. ----- | 60 |
| Figura 17.- Cervezas elaborada con maltas de maíz rojo. De derecha a izquierda, malta base, tratamiento 1, 2, 3, y 4. ----- | 61 |
| Figura 18.- Color de las cervezas, método de la ASBC. ----- | 62 |
| Figura 19.- Estructuras de algunos compuestos coloridos de baja masa molar formados en sistemas modelo de reacciones de Maillard. ----- | 69 |
| Figura 20.- Gráficos de araña del análisis QDA para los 5 tratamientos de cerveza de maíz. ----- | 71 |
| Figura 21.- Distribución de los descriptores de acuerdo al PCA. ----- | 77 |
| Figura 22.- Distribución de las muestras de acuerdo al PCA. ----- | 77 |
| Figura 23.- Distribución de las muestras y descriptores según el PCA. ----- | 78 |
| Figura 24.- Nivel de agrado de tres cervezas de maíz. 1 corresponde a me agrada muchísimo, 9 corresponde a me desagrada muchísimo. ----- | 80 |
| Figura 25.- Nivel de agrado de las cervezas con maltas tostadas. ----- | 81 |
| Figura 26.- Análisis de penalidades para las cervezas con maltas tostadas; arriba, tratamiento 1(170°C/10min) y 2 (170°C/60min), abajo tratamiento 3 (230°C/10min) y 4 (230°C/60min). t, p y a corresponden a los descriptores tostado, pungencia, amargor. ----- | 83 |

Introducción

La ingesta de líquidos para los seres vivos es una necesidad fisiológica. La sensación de sed es la forma en que se refleja en el cuerpo, y está relacionada con las funciones metabólicas del agua. Y no sólo eso, sino que en importancia para la vida, beber siempre es más necesario que comer, por lo que las bebidas a lo largo de la historia han jugado un rol de mayor importancia que la comida, especialmente desde el descubrimiento de la fermentación, y después la destilación, que hicieron posible la aparición de bebidas alcohólicas como parte de las opciones de bebidas disponibles.

La producción y consumo de bebidas alcohólicas es una de las actividades más antiguas desarrolladas por el hombre (Varnam y Sutherland, 1997). Está estrechamente relacionada con diversos ámbitos del desarrollo de las sociedades, tanto en el ámbito religioso, como de organización social, cultural, emocional y económica. En éste último es tal su importancia que hoy en día la elaboración de cervezas, vinos y bebidas destiladas representa una de las principales actividades económicas, suponiendo una importante fuente de ingresos al gobierno a través de los impuestos, así como fuentes de empleo (Varnam y Sutherland, 1997).

La cerveza es una bebida fermentada por levaduras del género *Saccharomyces*, no destilada, elaborada a base de cereales, comúnmente cebada malteada, aromatizada con lúpulo. Se pueden agregar otros componentes que le aporten sabores, aromas y cuerpo.

El proceso de elaboración de cerveza comprende los siguientes pasos: recepción y limpieza del grano, malteado del grano, molienda del grano, maceración del producto de molienda, cocción del mosto, fermentación, clarificación, maduración y envasado (Bamforth, 2006).

Adicionalmente a los ingredientes tradicionales, las cervezas pueden contener otros elementos encaminados a proveerla de sabores o aromas que le den características específicas a cada tipo o variedad. Entre estos ingredientes pueden estar incluidos otros cereales, como arroz, trigo, maíz, entre otros (Gump y Pruett, 1993).

Con la finalidad de rescatar una bebida prehispánica tradicional del centro del país, el Sendeché, y promover el consumo de materias primas de baja comercialización, como lo son los maíces pigmentados, en especial el rojo, se busca adaptar la tecnología de elaboración de cerveza artesanal a las materias primas principales utilizadas en la elaboración del Sendeché, maíz pigmentado y chile guajillo. En este trabajo se estudia el efecto que tiene el proceso de malteado y tostado sobre los compuestos que presentan actividad biológica en los maíces pigmentados, como son las antocianinas y los polifenoles totales, así como en la

capacidad antioxidante que presentan sus extractos. Así mismo, se miden estos parámetros en cervezas elaboradas con maltas de maíces pigmentados en reemplazo total de la cebada, en conjunto con sus características físicas y químicas. Por último se evalúan las características sensoriales de las cervezas obtenidas a través de un análisis cuantitativo descriptivo y su nivel de agrado mediante una escala hedónica.

Antecedentes

La cerveza es una bebida producida por fermentación de azúcares en medio acuoso, siendo cereales, más comúnmente la cebada, la fuente de estos azúcares, pudiéndose añadir lúpulo y otros elementos que dan sabor, aroma o cuerpo al producto resultante. La fermentación es llevada a cabo por levaduras de la especie *Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces carlsbergensis* (Varnam y Sutherland 1997), las cuales logran la producción de etanol y CO₂ a través de la ruta de Embden-Meyerhof (Hough, 1990), aunque en algunos tipos especiales de cerveza pueden verse involucrados otros microorganismos, por ejemplo, la lámbica.

Desde la época del antiguo Egipto se sabe que la cerveza puede ser un importante contribuyente a la dieta del hombre. De acuerdo a su composición, aporta cantidades considerables de carbohidratos, proteínas, minerales, vitaminas, sobre todo del complejo B, fibra y compuestos fenólicos, cuya importancia como antioxidantes ha venido aumentando considerablemente (Baxter y Hughes, 2004).

Historia de la cerveza

La mayor parte de la historia de la cerveza se desarrolla a escala doméstica o de escala comercial pequeña, principalmente para la complementación de la dieta de los campesinos (Priest y Steward, 2006). A pesar de la larga historia que se conoce sobre la fabricación y consumo de cerveza en el mundo, su industrialización y exportación, así como el interés en su investigación son muy recientes, de apenas un par de siglos a la fecha.

La fabricación de la cerveza se considera originada como una sub-rama del desarrollo de la agricultura, aunque hay quienes opinan que la agricultura se desarrolló debido al deseo del hombre por alcohol, y no al revés. Como sea que haya sido, el hallazgo de ciertos instrumentos históricos encontrados permite realizar el rastreo de sus orígenes hasta Mesopotamia, unos 6000 o 7000 mil años atrás. Los antiguos egipcios eran también fabricantes de cerveza, elaborada a partir de sorgo, la cual tenía un importante rol en las costumbres políticas de las esas culturas. Estos antecedentes son los primeros indicios de la fabricación de bebidas alcohólicas provenientes de cereales. Sin embargo, la historia del desarrollo de la cerveza y su industria se vincula más comúnmente con el norte de Europa,

donde las condiciones del clima impidieron el desarrollo de la viticultura (Priest y Steward, 2006).

Durante esta época en Europa, muchas personas consumían cerveza en lugar de agua, debido a la mala calidad microbiológica de esta última, además que aportaba algunas ventajas nutricionales como aporte de proteínas y vitaminas, principalmente vitamina B (Hardwick,1995).

La aparición de las ciudades permitió el establecimiento de comercio entre ellas, y con este el proceso de fabricación de cerveza tomó un giro hacia la producción para su venta más que para el autoconsumo. Este cambio fomentó la creación de equipos especiales para su elaboración a escalas mayores, así como la atención al proceso de malteado, el cual cobró importancia como operación individual. Igualmente fomentó el uso de materiales y tecnología, como el uso de vasijas de cobre, que antes de eso no eran utilizadas, para la cocción del mosto. Espacios especiales fueron implementados, debido a que no era posible fabricar grandes volúmenes en cocinas o espacios propios de las viviendas. Todo esto promovió el desarrollo de la cerveza a nivel comercial cerca del año 2000 A.C. (Hardwick, 1995).

En el siglo XIV, el uso del lúpulo se esparció desde Alemania hacia el resto de Europa reemplazando, al menos parcialmente, algunas de las hierbas y especias que se utilizaban en esa época para su elaboración, teniendo gran aceptación debido a los aromas, sabores, y principalmente la protección microbiológica (aunque en ese entonces no se tenía conciencia de esta ventaja) que presentaba su uso. Su uso se extendió a la Gran Bretaña en el siglo 15 y a Norte América en el siglo 17 (Priest y Steward, 2006).

Con el paso del tiempo las variaciones entre las cervezas elaboradas en unas y otras regiones desembocaron en productos denominados “ale” y otros denominados “beer”, los cuales se diferenciaban en el contenido de alcohol, el uso o ausencia de lúpulo, el color, el cuerpo y hasta la población que las consumía. Estas diferencias fueron evolucionando hasta llegar a convertirse en variedades de cerveza, que dependiendo de la región tenían características especiales. Inclusive, a pesar de que la cebada era el cereal más usado por su fácil manejo y malteado, ya desde el siglo 17 se empezaban a utilizar otros cereales con la misma tecnología, entre ellos avena y trigo (Priest y Steward, 2006).

A pesar de que se sabe que hubo una gran aceptación de la cerveza entre los pobladores agrícolas no se tienen datos sobre su producción y consumo más allá de que eran masivos. Era una práctica común realizar varias extracciones de azúcares del mismo grano con la finalidad de obtener cervezas de distintos grados de alcohol. Estas bebidas eran consumidas

por gente de diferentes edades y clases, principalmente en las comidas como sustitución del agua ya que era un complemento para su nutrición. Las cervezas más fuertes eran reservadas para celebraciones familiares y festivos (Priest y Steward, 2006).

La investigación científica en cervecería nunca ha sido muy grande, incluso ahora es la filosofía industrial de minimizar pérdidas y maximizar rendimientos la que manda sobre la investigación. Fue a inicios del siglo XX que se inició con el interés de la investigación científica sobre cerveza. Los primeros estudios se centraban en la materia prima, sin darle mucha importancia al proceso de producción en sí. El uso de lúpulo, su incorporación así como el uso de variedades de cebada adecuadas para la elaboración fueron de los puntos que se empezaron a estudiar tempranamente (Priest y Steward, 2006).

En los años treinta se realizaron algunos trabajos sobre la química y microbiología de la cerveza, sin que llegaran a ser investigaciones muy meticulosas o ambiciosas. Igualmente, trabajos sobre diseño de fermentadores o uso de filtros empezaron a desarrollarse. Fue a partir de los 40's que investigación y desarrollo empezó a tener popularidad en la industria cervecera, poniendo ahora mayor atención a la ciencia aplicada y a la tecnología (Priest y Steward, 2006).

En el siguiente cuadro se presenta un resumen, por etapas, de los avances y puntos claves del desarrollo de la cerveza en el mundo.

Tabla 1.- Desarrollo de la historia de la cerveza.

| Año | Desarrollo |
|-------------------|---|
| Antes de Cristo | |
| 3000, 000 | Fermentación alcohólica de extractos de plantas y jugos de frutas |
| 15, 000 | Fermentación alcohólica/láctica de granos |
| 11, 000 | Remojo de granos para elaborar malta para cerveza y pan |
| 4000 | Especialización en malta para cerveza |
| 1500 | Uso de vasijas de cobre |
| 500 | Construcción de espacios especiales para cervecería |
| 500 | Formalización del malteo en espacios especiales |
| Después de Cristo | |
| 500 | Formalización del macerado y clarificación |
| 500 | Incremento del tamaño de las vasijas empleadas |
| 1100 | Uso de Lúpulo |
| 1200 | Desarrollo de grandes centros cerveceros en Europa |
| 1680 | Invento del microscopio |
| 1800 | Desarrollo de nuevos espacios a gran escala |

| | |
|-----------|---|
| 1835 | Iniciación de la ciencia aplicada a la cerveza |
| 1870 | Invento de la pasteurización |
| 1883 | Sistema de cultivos puros empleados en cervecería |
| 1903-1930 | Científicos proponen la bioquímica de la fermentación por levaduras |
| 1935 | Desarrollo de la cerveza enlatada |
| 1940 | Uso de acero, automatización, uso de sanitizantes, etc. inician la nueva era de la cervecería |

Tomado de Hardick, 1995.

Proceso general de elaboración de cervezas

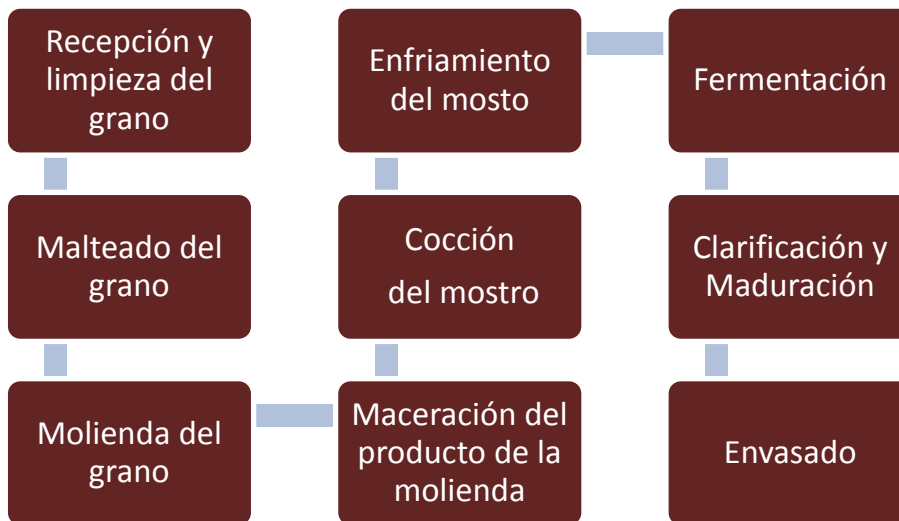


Figura 1.- Esquema general del proceso de elaboración de cerveza.

Dentro del proceso de elaboración hay algunos puntos que cobran gran interés debido a que de ellos dependen en gran medida las características del producto final, además de ser los de mayor interés en el desarrollo del presente trabajo. A continuación se describen estas operaciones.

Malteado

Durante el malteado, el grano crudo de cebada germina de manera controlada (López, 2012). La cebada no se puede utilizar directamente para la producción de cerveza, ya que no cuenta con el sistema enzimático encargado de transformar el almidón en azúcar. Mediante el malteo se sintetizan y movilizan enzimas y se liberan los gránulos de almidón del endospermo (Gil, 2010).

El objetivo primordial del malteado es deshacer la mayor cantidad posible de β -glucano, que es el componente principal de la pared celular de células muertas presentes en el

endospermo y que están unidas a los gránulos de almidón. Igualmente, se busca deshacerse de algunas de las proteínas insolubles presentes también en esta matriz, ya que de otro modo dificultarían el acceso de las enzimas al almidón. Durante este paso también se forman la mayor parte de estas enzimas, ya que durante el proceso de germinación de la semilla son de vital importancia (Baxter y Hughes, 2004).

Estas enzimas son las amilasas principalmente, se forman en el grano por la influencia de las hormonas específicas de crecimiento vegetal llamadas giberelinas (Baxter y Hughes, 2004).

A continuación se enumeran los objetivos principales del malteado (Fix, 1999):

- Desarrollo de enzimas, las cuales no se encuentran en el grano sin maltear, así que deben ser sintetizadas durante esta etapa.
- Citólisis. Las paredes celulares deben romperse para que las enzimas puedan actuar.
- Modificación, que incluye la degradación de proteínas y almidón para su aprovechamiento en el macerado y fermentación.
- Producción de compuestos de Maillard, responsables del color y los sabores y aromas especiales en las cervezas.

Las etapas del malteo son: remojo, germinación y secado; en todas son muy importantes los parámetros ambientales: temperatura, humedad y flujo de aire (López, 2012).

Para iniciar la germinación, la cebada requiere humedad de 40%, lo cual se logra en 1 ó 2 días, según la temperatura del agua; generalmente se usa a 40 ó 45 °C. En la industria se alternan períodos con y sin agua, pero es indispensable airear para que el grano no se ahogue ya que el oxígeno es necesario para su metabolismo. El grano flotante se elimina debido a que su menor densidad lo hace candidato a contaminación por plagas, bajos rendimientos de almidón o tamaño inadecuado para su procesamiento (López, 2012).

Con el aumento de la humedad, la maquinaria metabólica del grano se activa, con ella la producción de giberelinas. Estos compuestos estimulan la actividad y formación de enzima. Estas enzimas son degradadoras de almidón (α y β amilasas), de proteínas (proteasas), citolíticas (degradadoras de pared celular) y enzimas ácidas (fosfatasas, control del pH). En general, son las primeras las que se forman durante el malteo los otros tres tipos ya están presentes pero son activadas por las condiciones de humedad y temperatura (Fix, 1999).

La germinación debe ser rápida, vigorosa y uniforme. La humedad ambiental debe ser superior al 80% y es necesario mover el grano del fondo a la superficie de los contenedores periódicamente para oxigenarlo; generalmente se usan volteadores, para ello. Si es

necesario, se riega también. Por el extremo opuesto al de las raicillas, es decir por el lado dorsal, sale la plúmula en la germinación; cuando ésta ha alcanzado el largo del grano se ha obtenido la “malta verde” y es el momento de detener la germinación (López, 2012).

El proceso de malteado también incluye el secado y en su caso, tostado de la malta, durante el cual es posible que se reduzca de forma muy drástica la actividad de las enzimas de germinación, llegando en algunos casos a detenerse por completo, exceptuando las α y β amilasas (Hough, 1990). Este proceso también puede eliminar los sabores indeseables a “grano” y favorece la formación de otros más adecuados como los sabores y olores a “malteado” o “galleta” (Baxter y Hughes 2004).

La temperatura de secado es controlada de forma que se asegure una actividad enzimática suficientemente alta para producir un mosto de la composición deseada, aunque en algunos casos especiales, la actividad enzimática se destruye por completo. En términos generales, las α -amilasas son más resistentes que las β -amilasas (Varnam y Sutherland, 1997).

La deshidratación lenta con temperaturas relativamente bajas, conduce a una malta clara con su actividad enzimática casi intacta (α y β amilasas), mientras que al aumentar la temperatura se reducen los tiempos, pero se obtienen maltas más oscuras y con menos actividad enzimática (Hough, 1990).

Tostado de la malta

Existen diversos tipos de malta que difieren entre sí por las condiciones de tiempo y temperatura a las cuales fueron sometidas durante el proceso de malteado por lo que poseen características especiales de sabor y de color. Las maltas tostadas son maltas “ámbar, cafés, chocolate y negras” (Hernández y Román, 2010).

En el caso del tostado se distinguen dos fases: la fase de desecación, en la que los desdoblamientos enzimáticos prosiguen, y que se puede considerar como una continuación de la germinación, y el llamado golpe de calor, en el que no se producen ya reacciones de desdoblamiento, sino reacciones químicas y fisicoquímicas entre los componentes de la malta. Combinando estas dos fases se podrá obtener maltas más o menos aromáticas, más o menos coloreadas y más o menos enzimáticas (Vincent *et al*, 2006).

La física de la deshidratación se basa en que una muestra de malta tiene una determinada presión de vapor a una temperatura dada. Si se aumenta la temperatura de la muestra la presión de vapor aumentará considerablemente. Así, combinando una temperatura alta con un flujo rápido de aire se conseguirá una tasa de evaporación elevada, siempre y cuando no se llegue al punto de saturación del aire, pues entonces causaría condensación y el grano

resultaría húmedo en lugar de seco. Afortunadamente, con el aumento de temperatura también se ve favorecida la difusión del agua en la superficie por lo que es poco probable que ocurra esto último (Hough, 1990).

Un proceso común de secado inicia con una temperatura de entre 50 y 60°C, con lo que se consigue calentar el ambiente del secador y el lecho del grano. Más adelante las capas superiores del lecho comienzan a deshidratarse y el contenido de agua empieza a descender progresivamente desde el fondo del lecho del grano. Una vez eliminada aproximadamente el 60% del agua la deshidratación se vuelve más difícil, por lo que es necesario aumentar la temperatura y reducir el flujo de aire. En este punto, la reducción de la humedad del grano ha aumentado la estabilidad térmica de las enzimas. Cuando se tiene una humedad del grano del 12% se aumenta la temperatura hasta 75°C y se reduce aún más el flujo de aire. Cuando se logra llegar a una cantidad de humedad de entre 5 y 8% se eleva la temperatura de entrada hasta 80-100°C dependiendo de la variedad de malta que se quiera obtener (Hough, 1990).

En algunos casos de maltas especiales, sin actividad enzimática, las temperaturas llegan hasta los 200°C, aunque en estos casos es de poca importancia todo el proceso de rampas de temperatura ya que sólo se pretende la obtención de compuestos de aroma, sabor y color sin que tenga relevancia la actividad enzimática (Baxter y Hughes, 2004).

Las reacciones de Maillard entre los compuestos aminados provenientes de proteínas y los azúcares reductores comienza durante el secado de la malta con la producción de melanoidinas, las cuales juegan un papel muy importante en el sabor y olor de la malta (Varnam y Sutherland, 1997).

La reacción de Maillard que tiene como base la interacción entre azúcares reductores y aminoácidos libres o grupos amino terminales de las proteínas, se lleva a cabo a través de la formación de una base de Schiff, seguido por un reordenamiento de Amadori, la formación de dicetoaminas, una enolización y la reacción de Strecker (Miranda *et al*, 2007). Los productos finales de la reacción de Maillard son importantes porque determinan el color, sabor y aroma de la cerveza. Para cada clase de cerveza existe un nivel óptimo de estos compuestos por encima del cual ya no son deseables (Varnam y Sutherland, 1997). Estas reacciones, aunque no esclarecidas en su totalidad, consisten básicamente en la condensación entre azúcares sencillos, como la glucosa, con aminos primarias, como la glicina, para dar aldosilaminas. Estos compuestos son relativamente inestables, por lo que sufren reacomodos que los llevan a formar dicetoaminas. Estas a su vez sufren transformaciones y condensaciones que las llevan a la obtención de compuestos de color

morrón-rojizo, la mayor parte de los cuales contiene un anillo furfural (Baxter y Hughes, 2004). Los productos finales son, por un lado, los pigmentos de melanoidina, estructuras de alto peso molecular que contienen anillos en su estructura y por otro, compuestos volátiles. Los compuestos volátiles son fundamentalmente compuestos heterocíclicos con carbonilos, como el 2- y 3-metilbutanol, así como furanos y piranos, por ejemplo el maltol y derivados. Estos compuestos proporcionan el aroma a malteado. Compuestos N-heterocíclicos proporcionan notas a asado o a pan tostado. Los derivados de la prolina son importantes por su excepcional amargor (Varnam y Sutherland, 1997).

Las melanoidinas recientemente han atraído la atención debido a que son consideradas compuestos funcionales, con actividad pro-salud. En la cerveza, constituyen un compuesto de importancia sobre todo en algunos estilos de cerveza oscura, afectando el sabor, color y viscosidad de la bebida. Recientemente se ha visto que pueden actuar como polifenoles y compuestos antioxidantes debido a sus estructuras, donde es común encontrar insaturaciones, grupos hidroxilo libre, etc. Esta actividad antioxidante se debe a su capacidad para neutralizar radicales libres, como hidroxilo, superóxido, y peroxil, así como su capacidad quelante de iones, principalmente hierro (Langner y Rzeski, 2013).

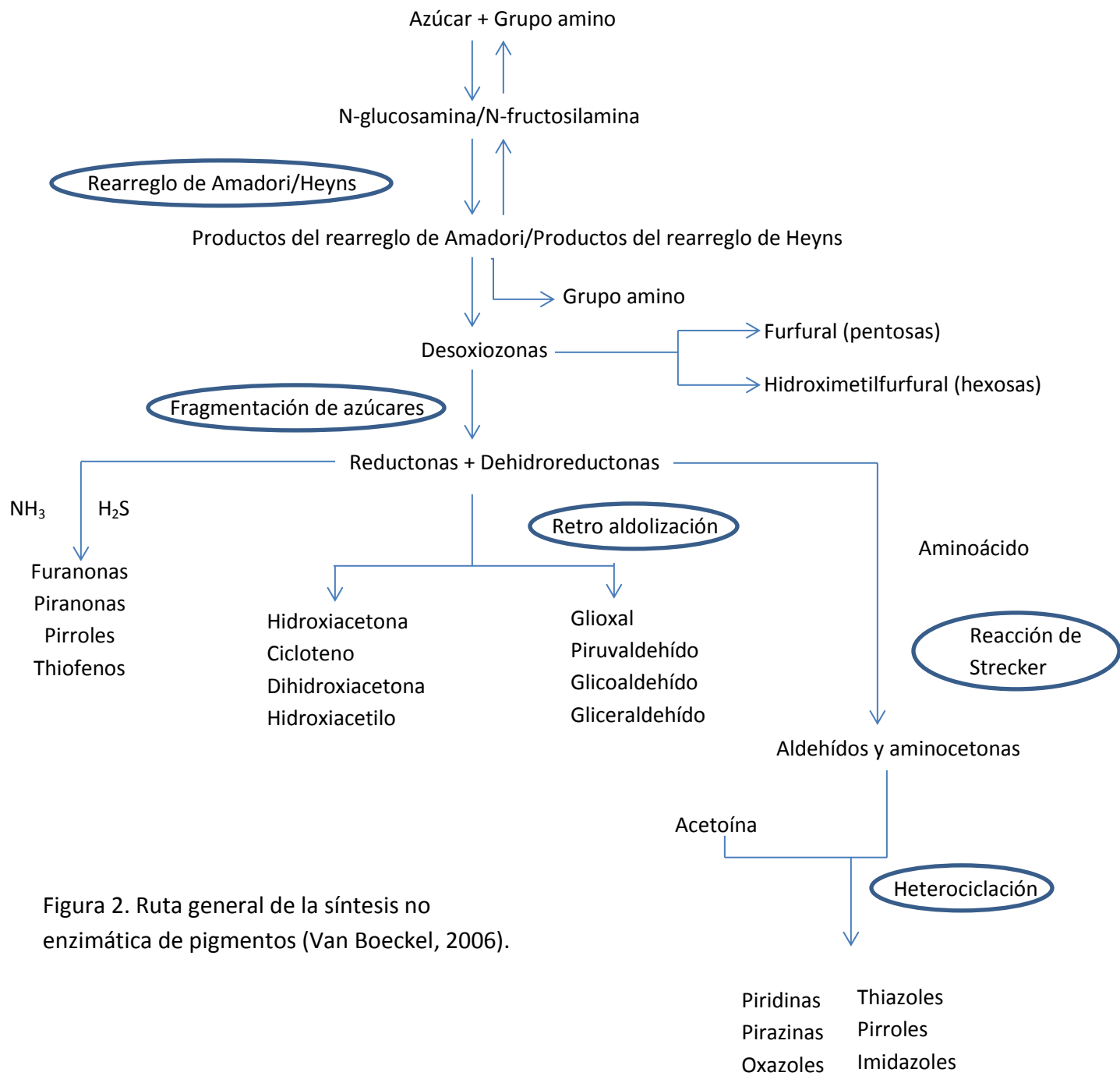


Figura 2. Ruta general de la síntesis no enzimática de pigmentos (Van Boeckel, 2006).

Tabla 2. Compuestos producidos durante la reacción de Maillard (Van Boeckel, 2006).

| Familia del compuesto | Aroma/sabor asociado | Alimento en que se encuentra |
|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Pirazinas | Cocido, asado, tostado, horneado | Alimentos cocinados en general |
| Alquilpirazinas | Nueces, asado | Café |
| Alquilpiridinas | Astringente, quemado, amargo | Café, malta, cebada |
| Acilpiridinas | Galleta, horneado | Cereales |
| Pirroles | Cereales | Cereales, café |
| Furanos, furanonas, piranonas | Dulce, quemado, pungente, caramelo | Alimentos cocinados |
| Oxazoles | Nueces, dulce | Cocoa, café, carne |

Cocción del mosto

El proceso de cocción del mosto consiste en exponerlo a una fuente de calor hasta que se alcance una ebullición constante y se mantiene a esa temperatura por un periodo de entre 60 y 120 min.

Son diversas las funciones mencionadas en la literatura de la etapa de cocción del mosto, dentro de las que se encuentran: evaporación del exceso de agua, con lo que se concentra el mosto; destrucción o inactivación de las enzimas presentes, originarias de la malta o añadidas; esterilización del mosto; eliminación de compuestos volátiles indeseables; la coagulación y precipitación de proteínas; precipitación intensa de fosfato de calcio y caída, por consiguiente, del pH; producción de compuestos que dan aroma, color y sabor, por medio de reacciones de Maillard; y como es en esta parte donde se agrega el lúpulo, se consigue también la extracción e isomerización de los alfa-ácidos del mismo, así como mejoramiento de la estabilidad de la espuma y extracción de aceites esenciales (Hough, 1990; Varnam y Sutherland, 1997; Baxter y Hughes, 2004).

Durante este proceso se suelen añadir también otros productos, como jarabes, azúcares, otros cereales o ingredientes cuya función será aportar características al sabor de la cerveza. También en esta etapa suelen agregarse alginatos, que son moléculas de poligalactosa altamente sulfatadas, por lo tanto cargadas negativamente, tendientes a coagular las

proteínas cargadas positivamente, aumentando la cantidad de turbios calientes. Esta precipitación puede arrastrar consigo parte de los alfa-ácidos contenidos en el mosto, por lo que es frecuente que en el mosto se encuentren contenidos de entre 30-50% de los alfa-ácidos, y que en la cerveza se reduzcan hasta 20-40% (Hough, 1990).

El procedimiento más simple para realizar la cocción del mosto es el uso de cubas abiertas, lo que significa condiciones de presión atmosférica, aunque algunos fabricantes la realizan con presión positiva, dejando después un periodo para la liberación de volátiles (Varnam y Sutherland, 1997).

La intensidad de los cambios que se producen en la cocción dependen normalmente de la duración y la temperatura de la cocción, así como de la composición del mosto (Varnam y Sutherland, 1997).

Lupulado del mosto

El lúpulo (*Humulus lupulus*) es una planta, perteneciente a la familia de las cannabináceas, pero a pesar de su parentesco con el *Cannabis*, el lúpulo comercial no contiene sustancias alucinógenas (Hough, 1990).



Figura 3.- Planta de lúpulo.

Es una planta trepadora perenne, con tres a cinco hojas lobuladas. Existe una separación entre plantas macho y hembra, pero son sólo los conos de las plantas femeninas las que desarrollan las glándulas de lúpulo, por lo que son las que tienen verdadero valor comercial (Priest y Steward 2006).

Aunque son variados los componentes presentes en las plantas de lúpulo, los que tienen real interés para el cervecero son las resinas totales, aceites esenciales y los taninos, que se encuentran en porcentajes de 15, 0.5 y 4% respectivamente (Hough, 1990).

Existe un amplio rango de variedades disponibles de lúpulo, que se han agrupado en tres grupos conocidos como “lúpulos de aroma”, “lúpulos duales” y “lúpulos ricos en alfa-ácidos”, aunque en la actualidad, con el uso de la selección e ingeniería se han logrado obtener

variedades muy aromáticas con altos niveles de α -ácidos, o variedades con un muy alto contenido de alfa-ácidos y un nivel aceptable de aromas (Priest y Steward 2006).

Aunque los α y β ácidos son muy similares en su composición, son los alfa-ácidos los que cobran real importancia por su capacidad para transformarse en compuestos de alto amargor (Hough, 1990).

Los α -ácidos, también conocidos como humulonas, comprenden una mezcla de homólogos y análogos de la humulona. Sus porcentajes relativos son: humulona 35-70%; cohumulona 20-55%; adhumulona 10-15%; prehumulona 1-10%; posthumulona 1-5% (Varnam y Sutherland, 1997). Aunque la proporción de humulona y cohumulona puede variar, pasando de ser una mayor que la otra dependiendo de la variedad, se ha visto que la adhumulona (las tres son los componentes de mayor importancia) siempre se encuentra en menor proporción (Priest y Steward, 2006).

Las humulonas no se encuentran como tal en la cerveza, sino en la forma isomerizada, las isohumulonas, que son considerablemente más amargas y solubles que las humulonas. La isomerización de las humulonas es la reacción de mayor importancia en la química del lúpulo, y tiene lugar durante la cocción del mosto (Varnam y Sutherland, 1997).

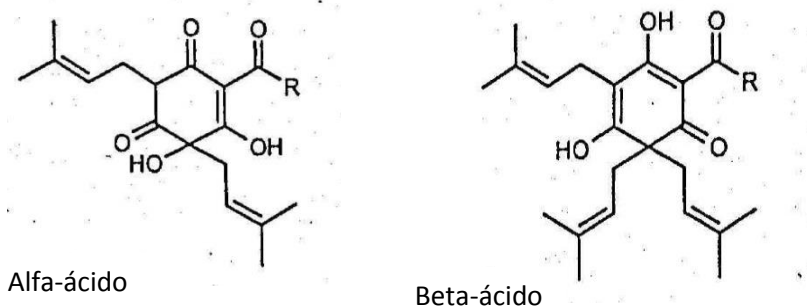


Figura 4.- Estructura de los α (izq.) y β -ácidos (der.) presentes en el lúpulo.

La isomerización de los α -ácidos ocurre cuando el mosto es hervido con el lúpulo, ocurriendo un rearrreglo de la estructura molecular, transformándose el anillo de seis carbonos de los α -ácidos en un anillo de cinco carbonos. Esta conversión es inducida por la temperatura y es acelerada a valores de pH superiores a 5,5 y en presencia de cationes divalentes, particularmente Mg^{+2} y Ca^{+2} . Cada α -ácido genera dos iso- α -ácidos epiméricos, los cis y trans-iso- α -ácidos; consecuentemente seis iso- α -ácidos estarán presentes en la cerveza (Carrillo, 2011).

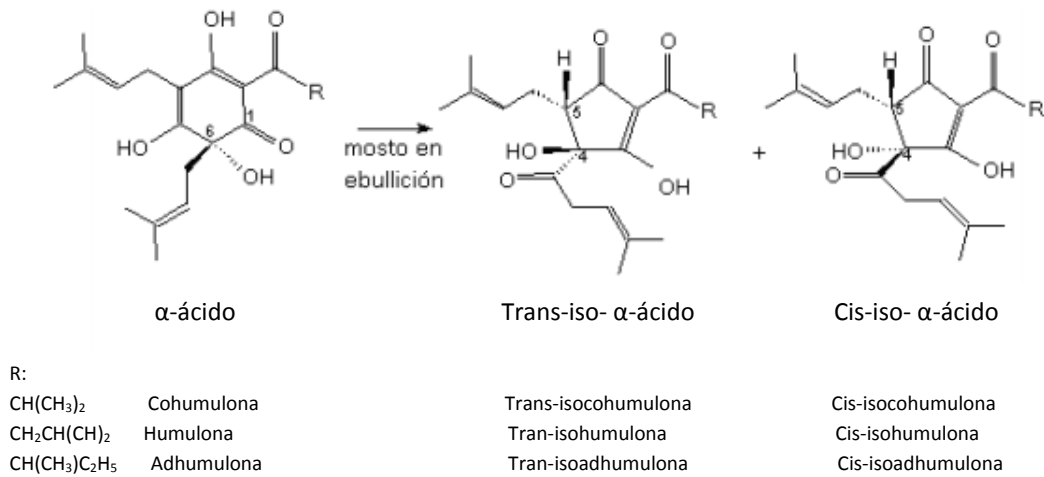


Figura 5.- Isomerización de los α -ácidos (humulonas).

La isomerización durante la cocción del mosto es un proceso poco eficaz debido a la baja solubilidad de las humulonas en el mosto y las pérdidas de isohumulonas con la proteína precipitada, la levadura y con los filtrados. El rendimiento final no es mayor al 30-40%, lo que supone un contenido de 15-35mg/l (Varnam y Sutherland, 1997).

La adición de lúpulo también puede traer consecuencias negativas a la cerveza cuando no se tienen las precauciones necesarias. Las insaturaciones de los iso- α -ácidos pueden sufrir una reacción fotolítica a través de un mecanismo de radicales libres entre el radical isoprendil proveniente de la ruptura del iso- α -ácidos y el radical SH* proveniente de la degradación de la cisteína generando el 3-metil-2-butenotiol, responsable del aroma indeseado azufrado que se genera cuando la cerveza es expuesta a la luz. Es por ello que las cervezas que contienen estos iso- α -ácidos deben ser embotelladas en botellas de color ámbar (Carrillo, 2011).

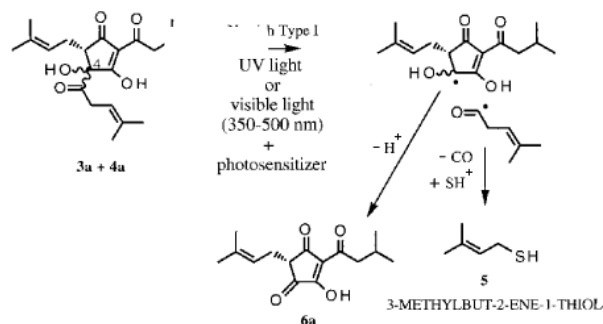


Figura 6.- Formación del sabor conocido como “golpe de luz” (De Keukeleire, 2000).

Fermentación

La fermentación es la operación por medio de la cual se obtiene la cerveza a partir del mosto. Ocurre como parte del metabolismo de la levadura: el microorganismo utiliza los constituyentes del mosto para reproducirse y, como parte de este proceso, forma etanol, dióxido de carbono y otros metabolitos. El proceso es afectado básicamente por (Hernández *et al*, 2003):

- La composición del mosto: contenido de nitrógeno proteico, azúcares fermentables, oxígeno y minerales.
- La concentración de levadura.
- La temperatura de fermentación.
- La agitación del medio.
- La presión producida por el dióxido de carbono que se forma.

Durante la fermentación la levadura capta los aminoácidos y los azúcares del mosto. Los azúcares son metabolizados, con la producción de dióxido de carbono y etanol en las condiciones anaerobias que se dan en las fermentaciones alcohólicas (Baxter, 2004).

En un inicio los fermentadores eran tinajas abiertas o cerradas, colocadas dentro de cuartos con ventilación para evitar la acumulación de dióxido de carbono y las condensaciones de agua en el techo. En la actualidad está generalizado el uso de tanques verticales, cilíndricos, cerrados, con el fondo en forma de cono y de acero inoxidable (Hernández *et al*, 2003).

Se distinguen dos tipos de fermentación, ale y lager, aunque una gran variedad de sistemas de fermentación han sido usados durante años, los cuales hacen un poco confusa la definición de cada tipo de fermentación. De cualquier forma, generalmente tienen las siguientes características (Priest y Steward 2006):

-Fermentación ale: se utiliza *Saccharomyces cerevisiae* la cual tiene un crecimiento superficial a temperaturas óptimas entre 14 y 17°C. Debido a que la fermentación es un proceso exotérmico muy frecuentemente se aplican sistemas de enfriamiento a los fermentadores (muchos de ellos tienen ya integrado el sistema). Además este enfriamiento funciona también como factor de precipitación de la levadura, lo que ayuda a su posterior eliminación.

-Fermentación lager: es conocida también como fermentación a baja temperatura, comúnmente entre los 8 y 13°C, utilizando *Saccharomyces uvarum*, también nombrada *S. carlsbergensis* (Varnam y Sutherland 1997). Durante la fermentación es común la distinción de dos etapas, una conocida como etapa floculante, que es desarrollada a 8°C, seguida por una etapa de no floculación, donde la cerveza es enfriada hasta 0°C para su estabilización.

Al inicio de la fermentación se tiene una etapa de adaptación donde las levaduras se encuentran en una forma latente, no hay crecimiento. Una vez superada esta etapa, las células comienzan la producción de nuevas células utilizando los carbohidratos disponibles como fuente de carbono. La presencia de oxígeno es vital en esta parte, ya que es necesario para el crecimiento de las células, pero al consumirse las condiciones anaerobias conducen el metabolismo de la levadura a la producción de CO₂ y etanol (Priest y Steward, 2006).

Durante la fermentación también se producen un gran número de compuestos que aportan sabores y olores a la cerveza como ésteres, alcoholes superiores, aldehídos (Priest y Steward, 2006). De este modo, las levaduras son responsables de gran parte de las características propias que distinguen a cada tipo de cerveza (Varnam y Sutherland, 1997). En gran medida, las diferencias en el sabor entre las cervezas ale y lager se deben a la temperatura durante la fermentación: mientras más alta, más rápida la fermentación y se obtienen mayores contenidos de subproductos (Hernández, 2003, Hardwick, 1995). Se da también la formación de metabolitos que son indeseables, los cuales proporcionan sabores y olores no deseables, como el diacetilo, estos generalmente removidos en etapas posteriores (Priest y Steward, 2006).

Una vez que la levadura ha consumido todos los azúcares disponibles, su metabolismo se alenta y con él, la formación de dióxido de carbono y etanol. Las células de levaduras comienzan a flocular entre sí para dar lugar a la formación de agregados que pueden bien precipitar hacia el fondo del fermentador o flotar a la superficie del líquido. La precipitación se puede promover mediante el enfriamiento de la cerveza (Varnam y Sutherland, 1997).

Al finalizar la fermentación se separa la levadura sedimentada del resto de la cerveza. Esta última debe sufrir un proceso de maduración que varía dependiendo del tipo de cerveza que se esté elaborando. Generalmente las cervezas tipo lager llevan una maduración más larga y que se realiza a bajas temperaturas. Durante este periodo los niveles de diacetilo se ven disminuidos (Hernández *et al*, 2003).

Características nutricionales de la cerveza

Las bebidas alcohólicas contienen elementos nutritivos que aportan valor alimenticio (Gil, 2010). Diversos estudios han demostrado que bebidas alcohólicas entre las que destaca la cerveza, pueden proveer ciertas ventajas para la salud humana, debido a su contenido de proteína, vitamina B, minerales, polifenoles, etanol, fibra dietética, e incluso prebióticos (Sorhabvandi *et al*, 2012). A continuación se muestra una tabla con los principales componentes de la cerveza moderna, en comparación con otras bebidas (Baxter y Hughes, 2004).

Tabla 3.- Composición de nutrientes de la cerveza común comparada con otros alimentos líquidos comunes.

| Ingrediente | Cerveza | Vino | Leche | Refrescos |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
| Agua | 92-95 | 85-91 | 88-90 | 89 |
| Alcohol | 2.5-5.5 | 9-14 | 0 | 0 |
| Carbohidratos | 1.5-3 | 0.1-6 | 5 | 10 |
| Proteínas | 0.2-0.6 | 0.02 | 3 | 0 |
| Lípidos | Despreciable | Despreciable | 3-4 | 0 |
| Minerales | 0.2-0.3 | 0.1-0.1 | 0.2-0.5 | 0.025 |
| Fibra | 0.3-1 | Despreciable | Despreciable | 0 |
| Vitaminas y otros micronutrientes | 0.002 | 0.0003 | 0.002 | 0 |
| Polifenoles y compuestos del lúpulo | 0.002-0.06 | 0.03-0.074 | 0 | 0 |

Valores expresados en g por 100ml.

Con respecto al agua, una ingesta suficiente es necesaria para mantener el equilibrio electrolítico en el organismo y prevenir la deshidratación. La cerveza se ha considerado desde hace tiempo como una manera agradable de aportar este líquido esencial. Algunos estudios clínicos han puesto de manifiesto que la cerveza es más eficaz que el agua para aclarar los riñones y ofrecer cierta protección contra los cálculos renales. No está claro que ingredientes de la cerveza son más activos a este respecto, pero es muy probable que sean los iones minerales (Baxter y Hughes, 2004).

En el caso del alcohol, la mayoría de las cervezas oscilan entre un contenido de 4-5% v/v. Dentro de este contenido, se recomienda un consumo de entre 1-2 litros para varones y de 1-1.5 litros para mujeres por día. Se reconoce cada vez más que el consumo moderado de alcohol proporciona beneficios claros a la salud. Un gran número de trabajos muestran que hay menor número de muertes por todas las causas entre la gente que consume alcohol moderada pero frecuentemente en comparación con aquellos que no consumen alcohol o que lo hacen en muy raras ocasiones (Baxter y Hughes, 2004, Bamforth, 2002).

En la siguiente figura se muestra una gráfica con resultados sobre estudios que relacionan riesgos de muerte o enfermedad con el consumo de alcohol (Baxter y Hughes, 2004).

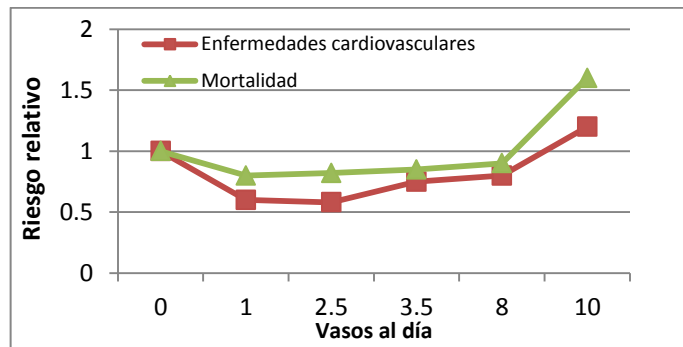


Figura 7.- Relación entre el consumo de alcohol y riesgos de mortalidad o enfermedades.

Una gran parte de los efectos protectores se debe a la reducción del número de enfermedades cardiovasculares, como los ataques al corazón. Además, el alcohol reduce la posibilidad de formación de coágulos en la sangre, disminuye la concentración del agente coagulante fibrinógeno en el plasma sanguíneo y reduciendo también la tendencia de las plaquetas a agregarse (Baxter, 2004). Además se le adjudica la capacidad de aumentar las lipoproteínas de colesterol de alta densidad en el suero sanguíneo (Bamforth, 2002).

Los niveles de carbohidratos (entre 20 y 30g/l) son comparables con los de la leche (50g/l). Debido a que la gran mayoría de los azúcares simples fermentables, y en las cervezas lager, hasta los trímeros de glucosa son fermentados durante la etapa de fermentación, el contenido de azúcares libres en la cerveza es muy bajo, y la mayoría de los carbohidratos se encuentran en forma de dextrinas con una o varias ramificaciones (Baxter y Hugues, 2004).

La cerveza contiene cantidades de proteína mayores que otras bebidas alcohólicas, aunque muy inferiores a bebidas de alto contenido proteico como la leche. La mayoría de estos compuestos provienen de la malta tostada, y es extraída durante la maceración de la malta (Baxter y Hughes 2004).

La cebada malteada contiene alrededor de 3% de lípidos como triglicéridos. Debido a que estos no son solubles en agua no se presenta una extracción de importancia durante la maceración, y si bien es cierto que durante el malteado se libera cierta cantidad de ácidos grasos, principalmente linoleico y linolénico, estos son utilizados por las levaduras para su metabolismo por lo que no se encuentran cantidades relevantes en la cerveza (Baxter Hughes, 2004).

La fibra dietética se define como los polisacáridos no amiláceos y en la cerveza estos proceden del β -glucano de las paredes celulares de la cebada. Como media, el contenido de fibra en cervezas es de entre 0.3-1g/100ml. Después de contribuir al buen funcionamiento

del intestino, los β -glucanos de la fibra disminuyen los niveles de colesterol del suero sanguíneo protegiendo así contra enfermedades coronarias (Baxter y Hughes, 2004). Además, aunado a un bajo consumo de alcohol, como ocurre al consumir cerveza, promueve el apetito y el correcto funcionamiento del intestino (Bamforth, 2002).

El valor energético de casi todas las cervezas oscila entre las 20 y 40 kcal/100ml. La mayor parte de la energía se deriva del alcohol, junto con los carbohidratos residuales y la proteína, aunque el contenido en alcohol es el mayor contribuyente al valor energético (Baxter y Hughes, 2004).

La cerveza contiene un amplio abanico de iones minerales. Así como la variación en los contenidos de minerales en el agua puede ser muy grande en distintas regiones de un país y entre países, los contenidos de minerales en la cerveza son igual de variables. Así los iones generalmente encontrados en cerveza son potasio, magnesio, calcio, cinc, sodio, fósforo, sulfato y cloruro (Baxter y Hughes, 2004).

La cerveza es una buena fuente de vitaminas, sobre todo del complejo B (Sorhabvandi *et al*, 2012; Bamforth, 2002; Baxter, 2004). 500ml de cerveza proporcionan, como media, cerca del 15% de los requerimientos de niacina, riboflavina, piridoxina y folato. La tiamina es la excepción ya que es captada por la levadura durante la fermentación de forma que quedan apenas residuos en la cerveza (Bamforth, 2002; Baxter y Hughes, 2004). La mayoría de estas vitaminas son aportadas por la malta y en el caso de la riboflavina también por la levadura. Las cervezas que son preparadas con adjuntos no malteados son generalmente más pobres en su contenido vitamínico (Baxter y Hughes, 2004).

A continuación se muestra una tabla con los contenidos de vitaminas promedio en cervezas comunes y su comparación con los contenidos en el vino (Baxter y Hughes, 2004).

Tabla 4.- Contenido de vitaminas típico en cervezas.

| Vitamina | Intervalo en la cerveza (mg/l) | Intervalo en el vino (mg/l) | Consumo de referencia (hombre adulto kg ⁻¹) |
|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|---|
| Niacina | 3-20 | 0.8-1.9 | 17 |
| Riboflavina | 0.07-1.3 | 0.06-0.4 | 1.3 |
| Piridoxina | 0.13-1.7 | 0.1-0.45 | 1.4 |
| Folatos | 0.03-0.1 | 0.002 | 0.2 |
| Biotina | 0.007-0.018 | Despreciable | - |
| B ₁₂ | 0.09-0.14 | <0.001 | 1.5 |
| Ácido Pantoténico | 0.5-2.7 | 0.5-1.2 | - |
| Tiamina | 0.002-0.14 | 0.005-0.04 | 0.9 |

Una amplia gama de compuestos fenólicos se encuentran comúnmente en las cervezas, derivados del lúpulo y la malta. Entre estos se encuentran los taninos, flavanoles, flavonoles, proantocianidinas, prodelfinidinas. Muchos de estos compuestos se distinguen por su capacidad antioxidante y de protección contra enfermedades cardiovasculares por reducción de la lesión oxidativa (Baxter y Hughes, 2004). Se pueden encontrar en concentraciones de entre 50-150mg/l (Gil, 2010).

Polifenoles en la cerveza

Los polifenoles son un grupo de compuestos de interés en la cerveza debido a que son responsables de diversas propiedades funcionales. Estos compuestos son importantes para los cerveceros debido a su influencia en la estabilidad coloidal de las cervezas, siendo responsables del enturbiamiento global originado por la interacción con las proteínas de la cerveza (González *et al*, 2001).

Los polifenoles presentes en la cerveza provienen esencialmente de la cáscara de la cebada malteada y del lúpulo. Son principalmente ácidos como el ferúlico, gálico o siríngico; flavonoides de tres tipos: flavanos como catequinas, antocianos y flavonoles como la quercetina o el kampferol. Incluso se tienen taninos, siendo los más importantes las proantocianidinas de diversos grados de polimerización (González *et al*, 2001).

El contenido final de compuestos fenólicos en una cerveza no depende exclusivamente de las materias primas usadas en su elaboración, sino que son muchos los factores que pueden afectarla. La mayoría de ellos están correlacionados con las prácticas de elaboración. Por mencionar algunos, el proceso de malteado tiene efectos diversos, puede aumentar o disminuir el contenido de polifenoles; las proporciones de agua:malta empleadas; el proceso de cocción, predominando en esta etapa las catequinas procedentes del lúpulo, así como la despolimerización de las proantocianidinas procedentes de la malta; durante la fermentación y maduración se presenta la precipitación así como degradación de algunos de estos fenoles (González *et al*, 2001).

Así, los contenidos de compuestos fenólicos descritos en la bibliografía varían notablemente de unos artículos a otros, oscilando entre 50 y 350 mg/L. En general, se ha encontrado que las proantocianidinas de diverso grado de polimerización suelen ser los compuestos fenólicos predominantes, especialmente las de mayor grado de polimerización, les siguen las catequinas así como ciertos ácidos fenólicos y algún flavonol como la quercetina, aunque sus concentraciones no suelen superar los 10 ppm (González *et al*, 2001).

Características sensoriales de la cerveza

Para cualquier alimento o bebida, las características sensoriales son un parámetro vital mediante el cual el consumidor valora el producto. Esto es importante en el momento del consumo, pues ayuda a conformar las sensaciones y las preferencias del consumidor y si este considera realizar futuras compras, es decir, el grado de lealtad a una marca en particular. El consumidor de cerveza tiene de hecho tendencia a demostrar significativa lealtad a una determinada marca, sin embargo, la percepción sensorial de la cerveza es un problema complejo, multidisciplinario que requiere una sustancial investigación para poder comprender totalmente el tema (Baxter y Hughes, 2004).

Dos componentes son importantes dentro de las características sensoriales de la cerveza: los cuatro sabores base, que son dulce, salado, ácido y amargo, y las sensaciones trigeminales que producen algunos compuestos, en el caso de la cerveza se destaca el dióxido de carbono entre estos últimos. Los niveles de dióxido de carbono en la cerveza oscilan entre 1g/l para la cerveza de barril y hasta 5g/l para algunas cervezas lager. Debido a que el umbral de percepción del dióxido de carbono en agua es de 1g/l está claro que este compuesto juega un papel primordial dentro de la percepción sensorial de la cerveza (Baxter y Hughes, 2004).

Con respecto al dulzor, este es consecuencia de la presencia de carbohidratos residuales en el producto final. Estos pueden proceder directamente de la malta o bien haberse añadido como cebadores para la realización de una segunda fermentación con la finalidad de alcanzar los niveles deseados de dióxido de carbono. Entre estos azúcares existen algunos oligosacáridos que si bien no aportan dulzor a la cerveza sí son de importancia, pues contribuyen al cuerpo o sensación bucal ya que aumentan la viscosidad (Baxter y Hughes, 2004).

La acidez en la cerveza viene dada justamente por ácidos presentes en el producto final provenientes de la fermentación. Estos ácidos son el ácido carbónico, ácido acético, ácido láctico y ácido succínico. Los niveles de estos ácidos presentes en el producto final dependen del vigor de la fermentación, mientras más vigorosa sea ésta mayor contenido de ácidos tendrá. El pH típico de una cerveza varía entre 3.9 y 4.4 aunque en algunos productos este rango puede verse modificado (Baxter y Hughes, 2004).

El sabor salado es consecuencia directa de la presencia de aniones y cationes. Algunas regiones son famosas por estilos específicos de cerveza que se preparan en ellas, en las cuales los contenidos de sales presentes en el agua con que se elaboran son trascendentales. Igualmente, la malta puede aportar contenidos importantes de iones. Son de gran

importancia los iones cloruro y sulfato ya que aportan sensaciones en boca (Baxter y Hughes, 2004).

El amargor es la sensación más fácilmente reconocida por los consumidores y se atribuye en gran medida a la presencia de iso- α -ácidos. Estos se forman durante la cocción del mosto y son producto de la isomerización de los α -ácidos contenidos en el lúpulo de forma natural. El nivel de amargor puede ser muy variable dependiendo del estilo de cerveza que se esté manejando, por lo que su ausencia o exceso no es una variable determinante en general, aunque sí lo puede ser en lo particular (Baxter y Hughes, 2004).

Los componentes de la cerveza que con frecuencia se consideran sápidos son de hecho los detectados por la nariz. Este equívoco procede de la comunicación existente entre la lengua, la garganta y las vías nasales. El aroma de la cerveza, procede no solo de cuando se huele sino también de la destilación de los volátiles de la cerveza cuando se encuentran en la boca. Debido a su complejidad, no es de sorprender que el aroma de la cerveza no se pueda caracterizar por unos cuantos compuestos bien definidos, sino que son muchos los compuestos que participan, tanto de forma individual como de forma sinérgica o antagónica (Baxter y Hughes, 2004).

Dentro de los grupos de compuestos que influyen en el aroma de la cerveza se encuentran:

-ésteres: dentro de los cuales los más importantes son el acetato de etilo y el acetato de isoamilo. El principal factor que influye la cantidad de estos ésteres presentes en la cerveza es la cepa de levadura utilizada ya que algunas cepas generan ésteres con más facilidad que otras.

-alcoholes: el alcohol de mayor importancia y que es también el que se encuentra en mayor proporción es el etanol, responsable de la sensación cálida. También juega papeles importantes en la percepción del aroma de otros componentes de la cerveza. La producción de alcoholes superiores en cerveza es importante solo como precursores de ésteres.

-dicetonas vecinales: en general la presencia de estos compuestos no es deseable en cervezas. El ejemplo típico de ellos es el diacetilo; se utilizan diversos procedimientos en cervecería para su eliminación.

- compuestos derivados del azufre: pueden estar presentes en cervezas y tienen influencia en el aroma de la cerveza. Entre ellos los más destacables son el sulfuro de hidrógeno en cervezas ale, y sulfuro de dimetilo en cervezas lager. En general, niveles bajos de estos compuestos pueden ser considerados como benéficos para el aroma total de las cervezas.

Otro compuesto derivado del azufre y que es de gran interés es el 3-metil-2-buten-1-tiol. Este es formado por la degradación fotoquímica de los iso- α -ácidos en presencia de riboflavina y fuentes de azufre. Este compuesto es responsable del desagradable sabor a quemado.

-aromas de lúpulo: se consideran dos fuentes de procedencia de los aromas a lúpulo en la cerveza, la degradación de los componentes no volátiles del lúpulo y los aceites esenciales presentes de forma natural. En general esta última fuente es la más aceptada como predominante en cuanto al aporte del aroma del lúpulo se refiere.

-aromas de la malta: dentro de los compuestos más importantes aportados por la malta está el hexanal, que no es deseable debido a su sensación de nota verde. Los compuestos generados durante el tostado de la malta, debido a las reacciones de Maillard son lo de mayor interés. Los compuestos furaneol, maltol e isomaltol son muy activos como aromatizantes y contribuyen en gran medida al aroma de las cervezas.

Variedad y diversidad cervecera

Los diferentes estilos de cerveza son el resultado del arte de combinar varios factores para obtener una consistente combinación de características especiales. Se tiene un estimado actual de cerca de 40, 000 cervezas diferentes disponibles en todo el mundo y aunque muchas de ellas están elaboradas bajo un mismo concepto de estilo, sus individualidades hacen a cada una de ellas única (Priest y Steward, 2006).

La palabra estilo se define como “una manera o tecnología particular con la que algo es hecho, creando resultados con calidad distintiva, forma o tipo de alguna cosa”. Con el crecimiento del mercado mundial y el incremento de las experiencias interculturales, hoy en día hay mayores oportunidades de acceder, disfrutar e introducir nuevas variedades de cerveza a los mercados, tanto locales como mundiales (Priest y Steward, 2006).

Todos los estilos de cerveza están regidos por cinco aspectos relacionados entre sí: los ingredientes; el proceso; el empaque; la estrategia de venta, y la cultura (Priest y Steward, 2006).

La mayoría de las cervezas están elaboradas por cuatro ingredientes básicos: agua; azúcares fermentables provenientes de malta de cebada, almidón o azúcares adjuntos; lúpulo, y levadura. No solo pueden ser diferentes estos ingredientes básicos de un estilo a otro, sino que también pueden ser usados en numerosas combinaciones (Priest y Steward, 2006).

El balance de minerales en el agua usada para cervecería puede afectar el carácter del sabor, así como la percepción del sabor a malta, lúpulo y productos de la fermentación. También puede afectar el comportamiento de la levadura durante la fermentación (Priest y Steward, 2006).

Existe una gran variedad de maltas de cebada utilizadas en cervecería. Cada una de ellas le confiere características especiales, principalmente contenido de azúcares fermentables, aromas, sabores y color. Es frecuente también el uso de azúcares adjuntos, como miel, dextrosa, azúcares invertidos, extractos de arroz, etc. A pesar que la cebada es el cereal más utilizado en cervecería, el maíz, arroz, sorgo, centeno y avena son también utilizados en ciertos porcentajes para darle características únicas a ciertos estilos (Priest y Steward, 2006).

El lúpulo juega un papel importante, hasta el punto de tener un rol tradicional en la formulación de cada receta. La variedad, tiempo de cocción, cantidad y combinación de lúpulos puede resultar en la creación de diversas características en cervezas. Algunos estilos de cerveza deben su individualidad a las características únicas del lúpulo que utilizan en su formulación, el cual puede no solo ser de una variedad en específico, sino que además puede provenir de una región determinada del planeta, ya que se sabe que dos variedades idénticas, crecidas en distintas regiones suelen tener características diferentes (Priest y Steward, 2006).

La mayoría de las cervezas son elaboradas con una de dos tipos de levadura: levadura lager o levadura ale (*Saccharomyces uvarum* y *Saccharomyces cerevisiae* respectivamente). Existen cientos de cepas de estos dos tipos de levadura. Cuando son utilizadas en la forma tradicional y de manera adecuada, los productos de la fermentación pueden ser predecibles (Priest y Steward, 2006).

En general se dice que las cervezas de fermentación alta, en las que se emplea *Saccharomyces cerevisiae*, tienen más cuerpo y ésteres, por lo que hace que tengan un rango de aromas florales, frutales y un carácter más complejo. Dentro de este estilo las variaciones más conocidas son la Pale Ale (de color ámbar, cuerpo medio y sabor amargo) y la Stout (cerveza oscura, muy cremosa, elaborada con maltas tostadas, con notas dulces como de chocolate y amargor moderado). Las cervezas de fermentación baja, en las que se utiliza *Saccharomyces uvarum*, se presentan menos sabores provenientes de la fermentación, destacando sabores de la malta, del lúpulo o de otros ingredientes añadidos. Además generalmente tienen menor cuerpo que las cervezas ale (sabrosas).

Existen cientos de variables de proceso que pueden afectar al resultado final en la elaboración de cerveza. Ejemplos clásicos de estas variables son el equipo utilizado y la

configuración de su diseño, la molienda del grano, el macerado, la cocción del mosto, temperatura de fermentación, tiempo de maduración o la aplicación de filtración (Priest y Steward, 2006).

Diversas variables sobre el empaque de la cerveza pueden alterar dramáticamente las características y estabilidad generales de la cerveza. Algunos ejemplos sobre estas son los sistemas de envasado en línea, el material de los contenedores, barriles, volumen de distribución, pasteurización (Priest y Steward, 2006).

El mercadeo no solo afecta la percepción del consumidor del producto sino que también afecta la forma y el entorno en que la cerveza es consumida. El mercadeo tiene una importancia muy relevante en cuanto al estilo de la cerveza y afecta culturalmente la mente del consumidor (Priest y Steward, 2006).

Factores políticos, sociales y religiosos han derivado en la creación de nuevos estilos de cerveza, por ejemplo las restricciones de Nigeria para importar cebada, que derivaron en la creación de cerveza de malta de sorgo, el desarrollo de cervezas microbiológicamente más estables para su posible transportación en expediciones coloniales, producción de cervezas con mínimos contenidos de alcohol en sociedades donde su consumo está muy estigmatizado, etc. (Priest y Steward, 2006).

Existen documentos, como el “Programa de Certificación para Juzgar Cervezas” donde se da la descripción detallada de cada estilo, sus características así como su clasificación.



Pilsner



India Pale Ale



American Amber Ale



Stout

Figura 8.- Ejemplos de algunos estilos de cerveza.

Cerveza Artesanal en México

La cerveza artesanal se refiere a la bebida que se elabora bajo la metodología de elaboración clásica cerveza, en volúmenes bajos, con ingredientes de alta calidad y procesos

tradicionales, distintos a los utilizados comúnmente en la escala industrial. Aunque se emplean ingredientes especiales para lograr sabores y aromas particulares, las recetas se basan en la utilización de agua, malta, lúpulo y levadura, sin la incorporación de químicos ni adjuntos que abaraten el proceso de producción (<http://beerdepot.com.mx/?p=942>).

En el 2013 esta industria recibió una noticia que promete fomentar su desarrollo dentro de los próximos años, y es que los contratos de exclusividad que tenían los grandes consorcios han quedado invalidados y ahora son antireglamentarios, por lo que la apertura para la venta de cervezas artesanales en restaurantes y tiendas promete un desarrollo no visto hasta ahora en esta industria (<http://www.forbes.com.mx/sites/productores-van-por-la-corona-de-la-cerveza-artesanal/>).

Actualmente, las cervezas artesanales sólo alcanzan el 0.5% del mercado nacional, porcentaje que podría escalar hasta un 3% o 5% en los próximos años impulsados por la reciente resolución, según analistas (<http://www.forbes.com.mx/sites/productores-van-por-la-corona-de-la-cerveza-artesanal/>).

Muchos de los cerveceros actuales, pertenecientes a la rama de la cerveza artesanal coinciden en que el pionero de la cerveza artesanal es Gustavo Gonzáles, quien desde 1995 empezó a elaborar cerveza a nivel casero. En el año 2000 creó su marca Cosaco (<http://www.mexicodesconocido.com.mx/cerveza-artesanal-mexico.html>).

La marca Calavera fue fundada en el 2008 por Bjorn Gilbert Nielson y tiene su sede en Tlalnepantla, Estado de México. Esta empresa elabora una cerveza llamada Mexican Imperial Stout, que es una cerveza oscura, con notas de chocolate y café, pero que además incorpora chile morita, chile ancho, guajillo y chipotle (<http://www.mexicodesconocido.com.mx/cerveza-artesanal-mexico.html>).

Otra marca que se encuentra igualmente en Tlalnepantla es Jack, que fue fundada por la pareja de José Morales y Claudia Rivera (<http://www.mexicodesconocido.com.mx/cerveza-artesanal-mexico.html>).

La cadena de bares restaurantes Beer Factory, que nació en 1997 maneja el concepto de bar-planta, ya que la cerveza que se vende es elaborada allí mismo. Esta idea nació de un grupo empresarial, y hoy en día cuentan con tres sucursales y siguen en expansión (<http://www.mexicodesconocido.com.mx/cerveza-artesanal-mexico.html>).

Primus, elaboradores de la cerveza Tempus, consiste en reunir microcerveceros bajo un mismo concepto. Su fundador es Rodolfo Andreu. Esta marca nace en el 2006. Al igual que la marca Beer Factory, Primus tiene restaurantes donde venden sus cervezas, aunque en éste

caso también se pueden encontrar embotelladas en el mercado (<http://www.mexicodesconocido.com.mx/cerveza-artesanal-mexico.html>).

Otras marcas de importancia en el país son Cervecería Bayernbrau, Cervecería Baja Brewing Co., Cervecería Revolución, Cervecería Artesanal Jack, Cervecería La Bru, Cervecería Pública Condesa, Microcerveceria La Legendaria y Cervecería Raramuri, Cervecería Cucapa, Sierra madre Brewing, Cervecería Minerva (<http://www.mexicodesconocido.com.mx/cerveza-artesanal-mexico.html>).

Uso del maíz en cervecería

Actualmente, el uso de adjuntos ricos en almidón agregados a la cerveza para incrementar los azúcares fermentables es muy común. En general, estos son otros cereales no malteados, o directamente extractos de almidón de diferentes cereales. Para estos fines, el maíz es uno de los cereales más utilizados (Varnam, 1997). El uso de estos adjuntos le da a la cerveza características específicas, que las diferencian de las cervezas elaboradas únicamente de cebada, principalmente cuando estos adjuntos son cereales malteados o sin maltear.

Dentro de las culturas mexicanas, en toda la república, existe gran diversidad de bebidas fermentadas elaboradas a partir del maíz. Entre los más conocidos son el Tejuino, que es una especie de atole frío fermentado; el Tesquino que es un fermentado de maíz recién nacido; el Tequino, una bebida obtenido del añejamiento del maíz; Tesgüino, que es una bebida elaborada de maíz germinado el cual después es molido, hervido, colado y fermentado (<http://www.mexicodesconocido.com.mx/diccionario-de-bebidas-tradicionales-mexicanas-8.html>); Chilatole, una bebida fermentada de maíz, adicionada con chile y sal (http://www.clubplaneta.com.mx/bar/glosario_de_bebidas_mexicanas_tradicionales_c.htm). Desde la época de la conquista los otomíes y mazahuas elaboraban y consumían una bebida que los españoles reconocieron como la “bier” de los germanos, sólo que era a base de maíz en lugar de cebada. Según los antiguos cronistas, era una bebida higiénica que daba fuerza y salud, sin sufrir la embriaguez que causaba el pulque. Esta bebida era muy popular en la región céntrica del país, abarcando México, Guanajuato, Tlaxcala, Querétaro y Puebla. Al igual que los europeos no utilizaban sólo cebada en la fabricación de cerveza, ya que el uso de lúpulo para aromatizar ya estaba muy difundido; los mexicanos utilizaban una yerba llamada Tepozán con este mismo fin, además de que era muy utilizada para todo tipo de remedios. Esta bebida era el Sendechó (http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1080013824/1080013824_26.pdf).

Entre estas, la que cobra una mayor importancia como antecedente sobre cerveza y de este trabajo es justamente el Sendechó.

Diversos trabajos sobre el estudio de cervezas elaboradas a partir de maíz han sido desarrollados a nivel exploratorio. En el grupo de investigación del Doctor José Ramón Verde Calvo y el Doctor Héctor Escalona Buendía, de la Universidad Autónoma Metropolitana campus Iztapalapa, se ha venido estudiando la adaptación del proceso de elaboración del Sendechó para transformarlo en una bebida más similar a la cerveza actual. Durante esta serie de trabajos se estudiaron las condiciones óptimas de malteo, específicamente lo concerniente a las condiciones de germinación y secado del grano (López, 2012). En otro de estos trabajos se elaboraron cervezas de maíz azul y de maíz rojo, obteniéndose el perfil sensorial de cada una de ellas con la ayuda de un panel de jueces entrenados así como algunos análisis instrumentales sobre el producto final (Romero, 2013). Dentro de los resultados a destacar es que el contenido de polifenoles totales y de antocianinas fue más elevado que el de cervezas presentes en el mercado. De la elaboración de estos trabajos se obtuvo una formulación base para la elaboración de cerveza de maíz, la cual se trabajará para generar estilos particulares de estas cervezas.

En el 2009, Nava desarrollo un trabajo en el Instituto Politécnico Nacional donde se estudiaron, entre otras características, los contenidos de antocianinas, polifenoles y capacidad antioxidante en el proceso de elaboración de tesgüino, elaborado con maíz azul germinado. El proceso de elaboración de esta bebida, en muchos aspectos, es parecido al de fabricación artesanal de cerveza. Durante este trabajo se encontró que los contenidos de antocianinas y polifenoles totales disminuían, desde los encontrados en el maíz hasta los encontrados en la bebida final. Estas disminuciones se daban principalmente por la aireación y cocción del producto, así como el pH del medio.

En la Universidad politécnica Salesiana, ubicada en Quito, Ecuador, se desarrolló un trabajo en el 2012 en el que se estudia el uso de maíces pigmentados, en específico maíces negros, y maíces blancos como materia prima para la elaboración de cervezas, siguiendo el proceso común de elaboración de cerveza, iniciando desde el malteado del maíz. Se midieron las características físico-químicas a través del proceso de elaboración, los compuestos con actividad biológica, como son antocianinas, polifenoles y la capacidad antioxidante, así como una evaluación sensorial con metodología tipo JAR donde el objetivo era conocer el agrado general de las bebidas obtenidas. Este último punto mostró que aunque las personas sentían cierto nivel de agrado, este era en el nivel mínimo superando apenas la barrera de la indiferencia hacia el producto (Galecio y Haro, 2012).

El trabajo que sirve como antecedente inmediato de esta investigación, realizado por Romero en el 2012, arrojó resultados similares en cuanto al gusto general de las bebidas obtenidas a partir de maíces rojo y azul. Dentro de los cambios que se aplican a este proyecto

está la incorporación del proceso de tostado a las maltas así como el uso de estas tostadas en la elaboración de nuevos lotes de cerveza con la finalidad de mejorar su nivel de agrado y aceptación.

El maíz rojo y sus compuestos bioactivos

La planta de maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es una planta ampliamente domesticada y evolucionada del reino vegetal. Existen varias especies de maíz de color blanco, amarillo, rojo, morado, café y azul. Estos maíces pigmentados están en las 41 variedades de maíz descritas en México (Agama *et al*, 2005).

Es una planta alta, de ciclo biológico anual y crecimiento determinado. Sus hojas ubicadas una frente a otra, son largas y angostas (su ancho, es de aproximadamente una décima parte de lo que miden de largo), insertándose de modo alterno a lo largo de un tallo sólido. Además de su tamaño, otra característica distintiva de esta gramínea consiste en la separación de los sexos en distintas estructuras florales. A diferencia de otros pastos, los cuales producen flores perfectas (bisexuales), el maíz produce inflorescencias masculinas (espigas) las cuales coronan a la planta en el ápice del tallo, e inflorescencias femeninas (mazorcas), las cuales se ubican en el ápice de los primordios de las ramas laterales que emergen de las axilas foliares. La inflorescencia masculina (estaminada), una panícula dispersa, produce pares de espiguillas separadas, cada una de las cuales encierra una flor fértil y otra estéril. La inflorescencia femenina (pistilada), es una espiga que produce pares de espiguillas sobre la superficie de un raquis altamente condensado (eje central u olote). Cada una de las espiguillas femeninas encierra dos flósculos fértiles, uno de cuyos ovarios madurará para dar origen al fruto del maíz una vez que haya sido sexualmente fertilizado por el polen con la ayuda de una corriente de viento (Salvador, 2001).

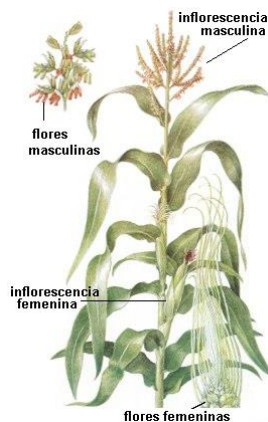


Figura 9.- La planta de maíz.

El fruto individual del maíz es botánicamente un cariósido, un fruto seco que contiene una sola semilla fusionada en el interior de los tejidos del propio fruto. La semilla contiene dos estructuras hermanas, un germen del cual se desarrollará una nueva planta y un endospermo el cual proveerá los nutrientes a la plántula hasta que ésta logre desarrollar la suficiente área foliar para tornarse en autótrofa (Salvador, 2001).

El germen consiste de un vástago en miniatura, incluyendo aproximadamente cinco hojas embrionarias, una radícula, de la cual se desarrollará el sistema radical, así como una hoja seminal anexa (escutelo). El germen es la principal fuente del “aceite vegetal” que contiene el maíz (el contenido total de aceite en el fruto del maíz es de 4% en peso). El endospermo ocupa cerca de las dos terceras partes del volumen del fruto involucrando aproximadamente un 86% de su peso seco. El principal componente del endospermo es el almidón, junto con 10% de proteína vinculada (gluten), siendo el almidón almacenado la base de los usos nutricionales del fruto del maíz. En conjunto el alimento elaborado con el fruto entero de maíz tiene un valor energético de 3578 calorías por kilogramo (Salvador, 2001).

El maíz es un elemento cultural de la misma importancia que el lenguaje, el vestido, la música, la culinaria, las costumbres y otras manifestaciones culturales (Cuevas *et al*, 2008).

La planta es usada para producir granos y forraje, los cuales constituyen la base para la elaboración de un buen número de alimentos tanto para nuestra especie como para otros animales, así como para la industria farmacéutica y manufacturera. El cultivo del maíz, así como la elaboración de sus muy diversos productos alimenticios están indisolublemente ligados con el surgimiento y evolución de las civilizaciones mesoamericanas pre-colombinas (Salvador, 2001).

Debido a su adaptabilidad y productividad el cultivo del maíz se expandió rápidamente alrededor del mundo después de que los españoles y otros europeos exportaron la planta de las Américas en los siglos XV y XVI. Actualmente el maíz es producido en la mayoría de los países del mundo siendo el tercer cultivo por la superficie involucrada (después del trigo y del arroz) (Salvador, 2001).

La producción mundial anual de este cereal es de 800 millones de toneladas, siendo los principales países productores Estados Unidos, China, Brasil, Argentina, India, Francia e Indonesia. En México la producción de maíz en el año 2012 fue de 22, 069,254 de toneladas. Sin embargo, actualmente no se cuenta con estadísticas oficiales acerca de la producción nacional y mundial de los maíces de color (Escalante *et al*, 2013).

En el caso de países con alta producción y consumo de maíz, como los son los países mesoamericanos, y en especial México, la atención en los maíces pigmentados está cobrando gran interés debido a su alto contenido de antocianinas, mencionándose incluso que las antocianinas procedentes del maíz son más estables al pH y temperatura que las presentes en otros frutos (Mendoza, 2012). Aunque el maíz pigmentado no ha tenido la misma demanda que el blanco o el amarillo, existe un antecedente histórico de su consumo y producción en diversas culturas de México, donde predomina la producción reservada para el autoconsumo (Mendoza, 2012).

En años recientes se ha incrementado el desarrollo y cultivo de otras variedades e híbridos pigmentados, como en Bolivia, Alemania, China, Estados Unidos y algunos países europeos. Debido al creciente interés por estos tipos de maíz en varias regiones del mundo, diversas instituciones de gobierno y académicas investigan la mejora de las variedades existentes, incluyendo las de maíces criollos (Escalante *et al*, 2013).

Hoy en día, los maíces con diversos colores de grano continúan sembrándose en México como poblaciones nativas, las cuales provienen de las diferentes regiones agroecológicas del país, aunque aún predominan las variedades blancas y amarillas sobre las azules, rojas y pintas. Esto debido a que los productos que se generan del maíz son típicamente blancos, y productos cuya coloración no es completamente blanca no es de fácil aceptación por los consumidores ni el grano es de fácil comercialización (Mendoza, 2012).

Compuestos fenólicos en el maíz

Los maíces criollos actuales poseen una gran diversidad genética y potencial para producir alimentos funcionales que ayuden a la población más vulnerable a enfrentar los graves problemas de desnutrición y salud. El común denominador de la mayoría de los alimentos funcionales es su capacidad antioxidante, que contrarresta los radicales libres responsables de causar oxidación de membranas y daño al ADN, lo que promueve enfermedades como cáncer, fibrosis, problemas cardiovasculares y envejecimiento prematuro. Estas propiedades están relacionadas íntimamente con la composición fitoquímica (Serna *et al*, 2013).

Los polifenoles son compuestos provenientes del metabolismo secundario de las plantas y se encuentran naturalmente en alimentos y bebidas de origen vegetal. Desde el punto de vista químico se caracterizan por la presencia de uno o más anillos tipo benceno. Ellos se relacionan directamente con algunas características de los alimentos como son el sabor, color, la palatabilidad y el valor nutricional. Entre estos compuestos se encuentran los ácidos fenólicos y flavonoides como el ácido cumárico y la quercetina, y los taninos, entre los cuales el más activo biológicamente es la epicatequina. Estos fenoles con peso molecular

relativamente alto tienen un poder antioxidante 20 veces más fuerte que la vitamina E (Padilla *et al*, 2008).

Los compuestos fenólicos comprenden una amplia variedad de formas químicas: fenoles simples, fenil-propanoides, derivados de ácido benzoico, flavonoides, estilbenos, taninos, lignanos y ligninas. Químicamente, un compuesto fenólico es una molécula que incluye en su estructura un anillo bencénico con uno o más grupos hidroxilo. Estos compuestos son derivados de sales 2-fenil-benzopirilo que existen en las plantas generalmente como glucósidos, con excepción de unos pocos compuestos amino (Escalante *et al*, 2013).

Son metabolitos esenciales para el crecimiento y reproducción de las plantas y actúan como agentes protectores frente a patógenos, siendo secretados como mecanismos de defensa contra condiciones de estrés, tales como infecciones, radiaciones UV, entre otros (Muñoz *et al*, 2007).

Los ácidos fenólicos se encuentran en los cereales en dos formas, libres o formando complejos. Las formas libres son menos abundantes en comparación con sus ésteres, glucósidos y compuestos ligados. En granos de cereales, su parte externa (pericarpio y testa) y la capa de células de aleurona en el endospermo contienen los fenoles libres en su forma glucosilada o esterificada. El contenido de ácidos fenólicos en el grano de maíz integral es de 601 mg kg⁻¹ (en base seca, bs), y el ácido ferúlico es el compuesto que constituye aproximadamente 63 % de estos ácidos. Este compuesto se encuentra en el pericarpio en forma libre o esterificada a heteroxilanas, las cuales conforman la hemicelulosa de la pared celular del grano de maíz (Escalante *et al*, 2013).

Estos compuestos fenólicos son un gran grupo de antioxidantes naturales; consumo de fuentes importantes, particularmente de frutas, verduras y cereales, presentan efectos benéficos para la salud. Estos componentes antioxidantes son capaces de neutralizar radicales libres, y pueden jugar un rol importante en la modulación de detoxificación enzimática, estimulación del sistema inmune, disminución de la agregación plaquetaria y modulación del metabolismo hormonal (Muñoz *et al*, 2007).

Los pigmentos que se encuentran presentes en el maíz están constituidos por fenoles, antocianinas y flavonoides, a los cuales, presentes en otros alimentos, se les han atribuido la propiedad de inducir enzimas de fase 2 como la glutatión-s-transferasa y la quinona óxidoreductasa 1. Las enzimas de fase 2 son enzimas quimioprotectoras que funcionan desintoxicando y eliminando metabolitos carcinógenos en diferentes tejidos corporales, especialmente en el hígado e intestinos, disminuyendo el riesgo de contraer cáncer (Guerrero *et al*, 2011). Dentro del estudio realizado por Guerrero se encontró que los

pigmentos mayoritarios dentro de los maíces rojos son las antocianinas. De igual forma, se ha descrito que algunos compuestos fenólicos de origen vegetal presentan dentro de la célula actividad antioxidante, reduciendo la concentración de radicales libres, mediante mecanismos de donación de electrones o átomos de hidrógeno a los radicales libres (Montilla *et al*, 2008). Entre estos compuestos figuran las antocianinas (Cuevas *et al*, 2008).

Estas antocianinas son compuestos derivados del metabolismo secundario de las plantas pertenecientes al grupo fitoquímico de los fenoles y dentro de ellos se incluyen a los flavonoides, los cuales son responsables de pigmentar de forma natural a los tejidos que los producen; en este grupo de metabolitos que se diferencian entre sí por el grado de oxidación que presentan en el tercer anillo que los conforma se encuentran las flavononas, los flavonoles, las isoflavononas y las antocianinas. Químicamente las antocianinas son glucósidos de las antocianidinas, es decir, están constituidas por una molécula de antocianidina, que es la aglicona, a la que se le une un azúcar por medio de un enlace β -glucosídico. La estructura química básica de estas agliconas es el ión flavilio, también llamado 2-fenil-benzopirilio, que consta de dos grupos aromáticos: un benzopirilio (A) y un anillo fenólico (B); el flavilio normalmente funciona como un catión (Aguilera *et al*, 2011). Después de la clorofila, las antocianinas son probablemente el grupo de pigmentos vegetales visibles por el ojo humano más importantes en plantas, éstas pueden conferirle una coloración roja, violácea o azul a las hojas, raíces, flores, frutos, semillas tallos y en conjunto a toda la planta, ubicándose principalmente en las partes superficiales de la planta (Mendoza, 2012). La principal fuente de antocianinas son frutas rojas, principalmente bayas y uvas rojas, cereales, principalmente maíz morado, vegetales y vino rojo entre las bebidas (Aguilera *et al*, 2011).

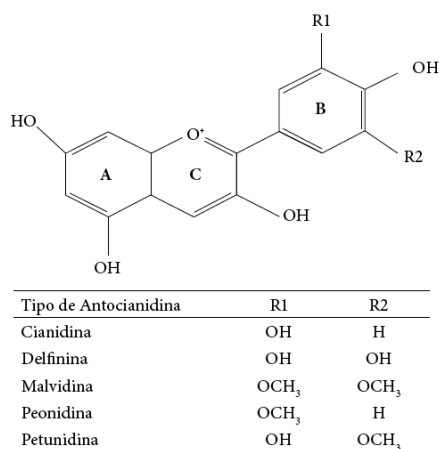


Figura 10.- Estructura y sustituyentes de las antocianinas.

Las antocianinas recientemente han atraído más interés debido a sus posibles atributos en la salud, tales como: la reducción de enfermedades coronarias, reducción del riesgo de padecer un infarto, actividad anticarcinógena, efecto vasoprotector, efecto antiinflamatorio, prevención de déficit de memoria, mejora del comportamiento cognitivo, función antioxidante, funciones neuroprotectoras, acción antimutagénica, así como prevención de la obesidad y la diabetes (Mendoza, 2012).

A pesar de la gran aceptación que han tenido estos compuestos para su uso como pigmentos en la industria alimentaria, su uso se encuentra aún muy limitado debido a su baja estabilidad, la cual es afectada por factores físicos y químicos como la temperatura, la luz, el pH (Mendoza, 2012).

El pH es uno de los factores más importantes. Las antocianinas son más estables en un medio ácido que en un medio neutro o alcalino. En medio ácido la forma predominante es el ion flavilio, el cual da el color rojo, cuando esta es sometida a pH básico o alcalino, el ion flavino es susceptible de ataque nucleofílico por parte del agua, produciéndose derivados incoloros, esto se puede presentar a pH mayor a 4.5. Las antocianinas son destruidas por el calor (Cuevas *et al*, 2008).

Actividad biológica de los compuestos fenólicos

Las circunstancias actuales, como la alta incidencia en los humanos de enfermedades como las cardiovasculares, la diabetes y el cáncer, aunado al auge que se tiene de los productos naturales y menos procesados, son factores que han generado una importante ventana de oportunidad para el uso de los flavonoides.

Estudios realizados sobre la actividad antioxidante y antimicrobiana de polifenoles y flavonoides han demostrado que algunos frutos como la papa morada, la morera, la cáscara de uva y las gardenias azules mostraron altas actividades antimicrobianas, además de buenas propiedades de pigmentación (Mendoza, 2012).

Experimentos en animales han demostrado que la suplementación con antocianinas previene efectivamente la inflamación y el subsecuente daño a vasos sanguíneos. Esta habilidad antiinflamatoria de las antocianinas también ayuda contra reacciones alérgicas. Por otro lado, se ha observado que su potencial antioxidante va en contra de los radicales superóxidos y peróxidos de hidrógeno a través de diversos mecanismos (Cuevas *et al*, 2008).

Estudios realizados indican que dada la baja biodisponibilidad de las antocianinas, la dosis a ingerir debe ser alta para obtener los beneficios a la salud citados, de entre 2-400mg kg⁻¹ de peso corporal, aunque un mayor consumo no implica mejor absorción ya que al parecer se

tiene una saturación del cuerpo. Por otro lado, se señaló que la ingesta diaria de antocianinas ideal es equivalente a 100mg (Mendoza, 2012).

En estudios realizados *in vivo* en ratas cuya dieta fue suplementada con harina de maíz de distintos colores, desde el blanco hasta el rojo, pasando por amarillo y azul, se observaron modificaciones en sus metabolitos enzimáticos, lo que se ve traducido como una mayor protección contra posibles desarrollos de cáncer de colon y de hígado, comprobando así su funcionalidad aun después del procesamiento e ingestión (Guerrero *et al*, 2011).

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante se refiere a la capacidad de ciertas moléculas para neutralizar a los radicales libres causantes del estrés oxidativo (Kuskoski *et al*, 2005). Los antioxidantes protegen al organismo de los radicales libres, moléculas altamente reactivas que pueden dañar el organismo a nivel celular. Este daño puede aumentar el riesgo de desarrollar cáncer, enfermedades cardiovasculares y otras enfermedades degenerativas (Padilla *et al*, 2008). Estos radicales son moléculas cuyo último orbital de energía se encuentra con electrones desapareados, lo cual los vuelve muy inestables y reactivos.

Existen una gran cantidad de métodos para medir la capacidad antioxidante en alimentos y extractos biológicos, aunque existe mucha discusión con respecto a la eficacia de éstos métodos para medir esta actividad en matrices tan complejas como son los alimentos, habiendo autores que aconsejan seguir estos puntos para realizar una cuantificación veraz de la capacidad antioxidante: elegir correctamente el producto a evaluar, probar varias condiciones de oxidación, medir compuestos iniciales y compuestos secundarios de la oxidación, comparar la capacidad antioxidante de compuestos en la misma concentración de los compuestos activos, comparar con base en el periodo de inducción, porcentaje de inhibición, razón de formación o descomposición de hidroperóxidos (Huang *et al*, 2005). Como se puede notar, esta es una metodología muy complicada.

Algunos autores han desarrollado o propuesto metodologías más sencillas aunque son sólo aproximaciones a lo que ocurre a nivel biológico en las células (Huang *et al*, 2005).

Una de las estrategias más utilizadas para medir la actividad *in vitro* para determinar la capacidad antioxidante total de un compuesto, mezcla o alimento, consiste en determinar su actividad frente a sustancias cromógenas de naturaleza radical; la pérdida de color ocurre de forma proporcional con la concentración del agente antioxidante (Kuokoski *et al*, 2005).

Los métodos más aplicados que siguen este principio son el de ABTS y DPPH. Ambos presentan una excelente estabilidad, aunque también muestran ciertas diferencias. El DPPH

puede obtenerse de manera directa, lo cual representa una ventaja, en cambio el ABTS debe prepararse mediante una reacción química o enzimática. Sin embargo, el ABTS puede medir la actividad antioxidante de medios lipofílicos e hidrofílicos, mientras que el DPPH sólo puede disolverse en medios orgánicos (Kuokoski *et al*, 2005). Sánchez Moreno sugiere que los análisis con el radical DPPH son convenientes, fáciles y recomendables cuando se analiza la capacidad antioxidante de muestras líquidas y no liposolubles. Algunos otros de los métodos más empleados son el ORAC y el TRAP que se cree son mejores para el análisis de muestras biológicas o botánicas (Hung, *et al* 2008).

Cabe señalar que las distintas metodologías empleadas para medir la capacidad antioxidante se basan en distintos modos de acción del compuesto a estudiar. Por ejemplo, el ORAC es un método que mide la capacidad de los compuestos para donar H en una reacción, y el DPPH mide la capacidad de transferencia de electrones de un compuesto (Hung, *et al* 2008). Sin embargo, los compuestos de mayor interés en el alimento que se está analizando en este trabajo, los polifenoles, son efectivos donadores de hidrógenos, teniendo gran cantidad de grupos hidroxilo libres así como la presencia de electrones donadores gracias a las estructuras de anillos con insaturaciones y su capacidad para soportar pérdidas de electrones (Kuskoski *et al*, 2004).

El chile guajillo

Los chiles son miembros del género *Capsicum* (Solanaceae), y han sido cultivados extensivamente en América inicialmente, de donde se extendió su cultivo a todos los continentes. De las 25 especies reconocidas, son cinco las que tienen mayor importancia económica a nivel mundial: *C. annum*, *C. frutescens*, *C. baccatum*, *C. pubescens* y *C. chinense*. Las cinco especies han sido domesticadas en alguna región del continente americano. El chile es una de las plantas cuya domesticación se dio más temprano en el desarrollo de las culturas mesoamericanas (Aguilar *et al*, 2009).

Evidencia arqueológica señala que el chile ha sido utilizado en la alimentación de las culturas mexicanas desde el hace 8000 A.C. (Aguilar *et al*, 2009).

De las cinco especies domesticadas presentes en América, la de mayor variabilidad en cuanto al tamaño, forma y color de los frutos es la especie *annuum*. Además que, junto con el maíz, es uno de los elementos primarios en la dieta de los pueblos mesoamericanos. (Aguilar *et al*, 2009).

México es uno de los principales centros de origen, domesticación y producción del género *Capsicum*, en particular de la especie *annuum*. Esta especie agrupa la mayoría de los tipos de

chile cultivados en México, dentro de los que destacan: ancho, serrano, jalapeño, morrón, mirasol, pasilla y mulato (Cázares *et al*, 2005).

En esta especie de plantas se lleva a cabo la síntesis de numerosos compuestos, denominados metabolitos primarios y secundarios. Entre los metabolitos secundarios se encuentran monoterpenos como el limoneno, linalol, lúpulo. Ácidos orgánicos como el ascórbico, caféico, cítrico, clorogénico, oleico, linoléico y ácido p-cumárico. Alcaloides como la solanina, solanidina, solasodina, escopoletina. β -caroteno, β -sitosterol, capsaicina, cariofileno, dihidrocapsaicina, eugenol, escopoletina. Carotenoides con terminación ciclopentánica (capsantina, capsotubina, capsantinona, etc.) Heterósidos diterpénicos como luteína, tocoferol, trigonelina y zelaxantina (Waizel y Camacho, 2011).

La capsantina es el compuesto responsable de que los chiles adquieran el color rojo en la maduración, éste es un pigmento con propiedades antioxidantes (Waizel y Camacho, 2011).

Otros compuestos de interés que se encuentran en el chile son los tocoferoles, que son precursores de la vitamina E, a la que se atribuye capacidad de reducir la oxidación enzimática y de lípidos. Además están presentes vitaminas como: la niacina, el retinol, y un alto contenido de ácido ascórbico, del que en ocasiones se encuentran concentraciones de hasta 50mg/100g. Es de resaltar que en chiles picosos se puede encontrar también el aminoácido triptófano, que es difícil de encontrar en tejidos vegetales (Waizel y Camacho, 2011).

Dentro de los compuestos de mayor interés en el chile se encuentra la capsaicina (*E*)-*N*-[(4-hidroxi-3-metoxifenil) metil]-8-metil-6-nonenamida), un compuesto generalmente reconocido como alcaloide perteneciente a la familia de los capsaicinoides. Es un derivado de la vainillilamina y una cadena hidrofóbica (Chinn *et al*, 2011; Fernández, 2007). Recientemente algunos autores la catalogan como una alcalamida y más propiamente dicho una alquenamida (Molina, 2009). El segundo en importancia dentro del grupo de los capsaicinoides es la dihidrocapsaicina que es el 6,7-dihidroderivado de la capsaicina (Fernández, 2007). La importancia de estos compuestos radica en que son responsables de la pungencia característica de este fruto y su contenido dentro del mismo se ve afectado por la genética, el cultivo y aspectos tecnológicos de su procesamiento (Kirschbaum *et al*, 2002).

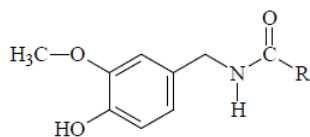


Figura 11.- Estructura general de los capsaicinoides.

Se han realizado algunos estudios sobre los compuestos volátiles que se encuentran en distintas variedades de chiles, encontrándose compuestos como ésteres de ácido orgánicos, alcoholes cíclicos, como el dimetilciclohexanol, aldehídos, cetonas, terpenos, alcanos, ácidos grasos e incluso humulona (Garruti *et al*, 2013). Todos estos compuestos son responsables de gran parte del aroma y sabor característico de estos frutos.

Existen algunos trabajos (Ziino *et al*, 2009; Bogusz *et al*, 2012) donde se han identificado más de 60 compuestos responsables del olor y sabor de éstos frutos, dentro de los cuales destacan ésteres, alcoholes y terpenos.

Según datos de la SAGARPA, en el 2010 se dedicaron un total de 148, 759 hectáreas de superficie para la siembra de chile, de los cuales se obtuvo un total de 3, 445, 460 toneladas (inforural).

En los últimos años, los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Aguascalientes y Durango, han sido los de mayor producción de chile seco de la variedad mirasol, también conocido como guajillo, y en general de chiles secos (Reyes *et al*, 2001).

Evaluación sensorial en Cervezas

El análisis sensorial está compuesto por un conjunto de técnicas, aplicadas de una manera científica, que permiten obtener unos resultados fiables sobre las respuestas que nos dan nuestros sentidos de los alimentos (De la Presa, 2002).

Quizá el producto más conocido de los estudios que se han elaborado sobre el sabor de la cerveza es la llamada rueda de sabor de la cerveza, la cual fue modificada para añadirle sensaciones bucales y de textura. Las pruebas sensoriales pueden clasificarse de acuerdo con la información buscada y la forma en que se plantean los experimentos (Baxter, 2004).

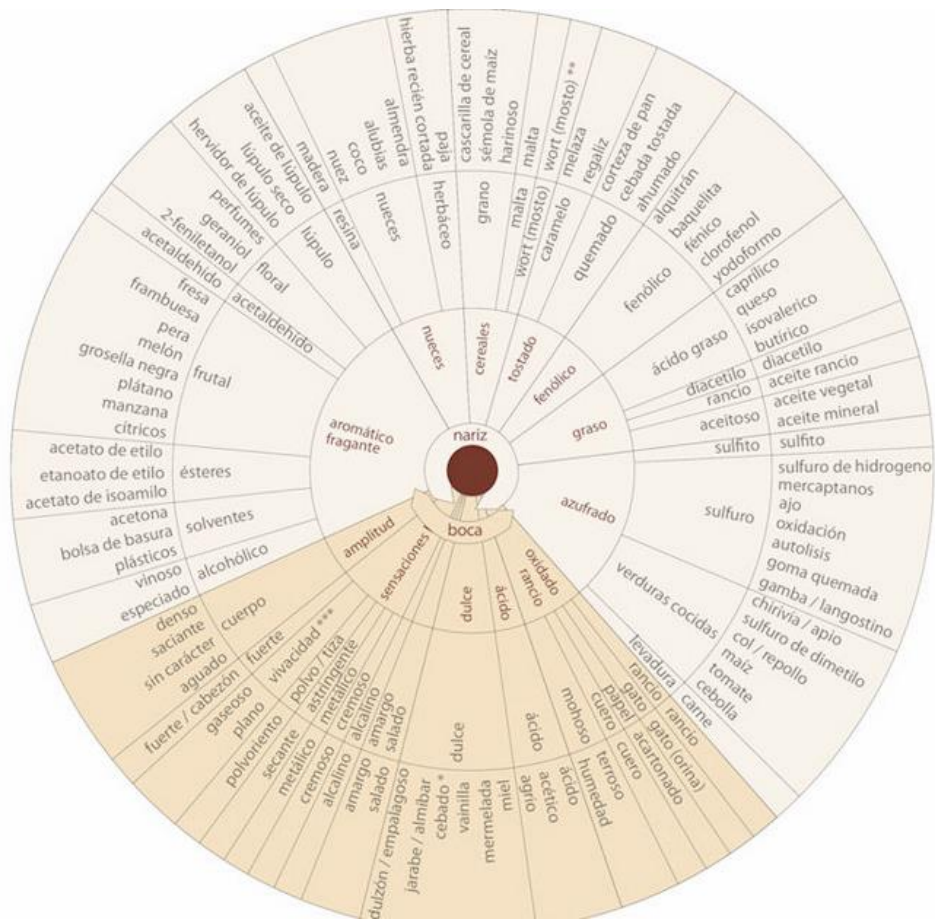


Figura 12.- Rueda de sabores de la cerveza.

La percepción del consumidor sobre la calidad de la cerveza es la respuesta de una compleja mezcla de variables, dentro de las que se encuentran (Priest y Steward, 2006):

- Estilo de la cerveza
- Marca/publicidad
- Color
- Claridad
- Espuma
- Sabor y aroma
- Temperatura
- Vaso
- Carbonatación
- Sensación en boca.

A pesar de que muchos de estos parámetros escapan del control del cervecero, los más importantes están directamente relacionados con él y pueden ser bien controlados (Priest y Steward, 2006).

A pesar de los factores fuera del control del cervecero, se ha desarrollado metodologías para el análisis de la percepción del sabor que permiten un control sobre la calidad de la cerveza. Existen cinco tipos de evaluación del sabor (Priest y Steward, 2006):

- Pruebas de diferencia
- Pruebas descriptivas
- Pruebas de preferencia
- Pruebas de escala
- Pruebas de facilidad de ingesta

Las de mayor interés se describen a continuación.

Las pruebas discriminativas son usadas para establecer si existe diferencia entre dos o más muestras. En las pruebas triangulares se presentan tres muestras, dos de las cuales son iguales y se pide a los jueces que identifiquen la que es diferente. En ausencia de diferencia, 33% de las respuestas serán correctas. Otra prueba similar es la duo-trio, donde se presentan tres muestras y una de ellas es usada como referencia. Se le pide a los jueces que seleccionen cuál de las dos restantes es igual que la referencia. En ausencia de diferencia el 50% de las respuestas serán correctas. Estas pruebas son útiles para monitoreo de la consistencia en productos o cuando materias primas o algún paso del proceso es modificado. También es útil para conocer si dos cervezas de la misma marca, elaboradas por distintos fabricantes son diferentes entre sí (Priest y Steward, 2006).

Las pruebas descriptivas requieren jueces con un alto grado de entrenamiento ya que tienen que estimar el sabor de una cerveza usando términos de sabor establecidos. Estos términos fueron generalizados en 1970 para describir todas las posibles notas presentes en cervezas. A cada descriptor se le relaciona con un compuesto químico, por ejemplo el olor a plátano se relaciona con el acetato de isoamil. Este tipo de pruebas se emplean en el desarrollo del perfil de sabor de una cerveza (Priest y Steward, 2006).

Las pruebas de preferencia son críticas para conocer el gusto de los consumidores. En ellas se les presentan muestras y se les pide que elijan cuál de ellas es prefieren, y de ser posible que

den una pequeña descripción de por qué la prefieren. Son muy utilizadas para monitorear las preferencias en comparación con otras marcas (Priest y Steward, 2006).

Dos de los métodos más usuales de la evaluación de alimentos por jueces humanos son el perfil sensorial descriptivo y las consultas a consumidores. En el primero, un grupo reducido de jueces (15) entrenados evalúa la intensidad de una serie de características sensoriales de los productos. En el segundo, un grupo grande de consumidores (100-300) de la población consumidora evalúa la aceptabilidad del alimento. Cuando para los mismos alimentos se dispone de los dos tipos de datos, pueden relacionarse ambos para analizarlos los motivos por los que los consumidores prefieren uno u otro producto. De la misma forma pueden también relacionarse otros datos distintos a los sensoriales con las respuestas de los consumidores (Izquierdo, 2002).

Los perfiles descriptivos de los productos producen datos de interés de características sensoriales de los alimentos, pero no del nivel de aceptabilidad, y exactamente lo contrario ocurre con las consultas a consumidores. Por ello, la combinación de ambos métodos puede llegar a dar resultados mucho más amplios sobre la información de un producto que cada uno por individual. Esto se puede realizar mediante la elaboración de un análisis de componentes principales en su versión de mapa de preferencias interno (Izquierdo, 2002).

Justificación

El consumo de cerveza en nuestro país está muy difundido entre todos sectores de la población, prueba de ellos es que en el 2012 este mercado alcanzó un valor de 21 mil 795 millones de dólares, según datos de la firma Euromonitor Internacional. Esto demuestra que su importancia social y económica es indiscutible en nuestro país (<http://www.forbes.com.mx/sites/productores-van-por-la-corona-de-la-cerveza-artesanal/>).

La inclusión de materias primas que contengan compuestos antioxidantes a productos de alto consumo en nuestro país, como es la cerveza, cuyos beneficios a la salud han sido comprobados por numerosos estudios, representa una forma de ayudar a la prevención contra algunas enfermedades que en años recientes han llegado a presentarse incluso como epidemias a nivel global, tal es el caso de la diabetes, hipertensión, cáncer, entre otras. En este caso, el maíz rojo cumple esta función, ya que es cereal que ha demostrado tener altos contenidos de estos compuestos.

Siendo la malta la materia prima de mayor importancia para la fabricación de cervezas, un estudio sobre el efecto del tostado de maltas de maíz se vuelve indispensable para conocer

cómo se modifican sus características y cómo estas nuevas características impactaran al producto final.

La estandarización de métodos, materiales e instrumentos así como las materias primas utilizadas en la elaboración de un nuevo producto son vitales para lograr constancia y aceptación en el mercado, debido a que cuando un producto o marca mantienen sus estándares de calidad es posible obtener consumidores frecuentes.

Hipótesis

-Mediante la manipulación de las condiciones de malteado se lograrán conseguir maltas tostadas de maíz rojo adecuadas para la fabricación de cerveza de maíz.

-A través del desarrollo de distintas formulaciones, variando las maltas usadas y cantidad de chile añadida, se obtendrán cervezas que conserven sus características funcionales y que tengan un buen nivel de agrado entre consumidores.

Objetivos

General

Obtener cervezas elaboradas a base de maíz rojo, sin defectos sensoriales y que conserven propiedades de alimento funcional, principalmente como fuente de antioxidantes.

Específicos

-Caracterizar el maíz rojo (humedad, antocianinas, capacidad antioxidante, polifenoles totales) y el chile guajillo (capsaicina y compuestos volátiles).

-Realizar el malteado y tostado de los granos de maíz rojo, cuantificar el contenido de antocianinas y polifenoles totales así como capacidad antioxidante y poder diastásico.

-Elaborar cervezas a partir de malta base de maíz, malta tostada, lúpulo y chile guajillo.

-Caracterizar fisicoquímica y sensorialmente las cervezas; cuantificar su contenido de antocianinas, polifenoles totales y capacidad antioxidante.

Métodos

Elaboración de la cerveza

Como ya se mencionó, a partir de los trabajos que se han realizado sobre cerveza de maíz en la UAM-I se ha obtenido una formulación base, así como un proceso de elaboración, que son los que se emplearán como punto de partida para este trabajo.

El proceso de elaboración es, en general, el mismo que para la cerveza común, con ligeras variaciones.

A continuación se mencionan las etapas de elaboración de la cerveza de maíz:

- Limpieza y acondicionamiento del grano.
- Malteado del grano (incluye incremento de la humedad, germinación, secado y tostado).
- Eliminación de la raicilla del grano.
- Molienda del grano.
- Maceración del producto de molienda.
- Cocción del mosto obtenido de la maceración
- Incorporación de lúpulo y el chile.
- Enfriamiento del mosto hasta temperatura ambiente.
- Vaciado al fermentador e incorporación de la levadura.
- Fermentación.
- Separación de la cerveza verde y los precipitados (levadura y proteínas).
- Adición de azúcares de segunda fermentación.
- Embotellado.
- Clarificación y maduración.

El maíz rojo fue obtenido del mercado local de Milpa Alta, delegación del Distrito Federal.

El proceso total de fabricación comprende un periodo de tiempo de 6 semanas, desde el inicio del malteado hasta la cerveza madurada.

La malta utilizada fue 100% malta de maíz rojo. Se elaboraron 5 cervezas distintas, de las cuales cuatro integran en su formulación un 20% de malta especial, en sustitución de la malta base.

Cinco de estas cervezas se elaboraron agregando una cantidad de chile equivalente al 1% del peso de la malta agregada. Una vez que se determinó cuáles fueron los dos tratamientos que más agradaron éstos fueron reformulados agregando ahora el equivalente al 2% de chile del peso de la malta utilizada (malta 4kg, chile 80g).

Tostado de las maltas

Al finalizar el proceso de malteado, es decir después del secado, las maltas se sometieron a diferentes tratamientos térmicos (tostador de café), con la finalidad de obtener maltas especiales con diversos grados de tostado y con ello conseguir aromas y sabores diversos en el producto final. Estos aromas y sabores se generan a través de las reacciones de Maillard las cuales se llevan a cabo durante el tostado por acción de la temperatura. Los sabores generados son principalmente a café, pan tostado, quemado, galletas, palomitas, entre otros.

Tabla 5.- Condiciones de tostado de maltas de maíz.

| Malta | Tiempo (min) | Temperatura (°C) |
|---------|--------------|------------------|
| Malta 1 | 10 | 170 |
| Malta 2 | 60 | 170 |
| Malta 3 | 10 | 230 |
| Malta 4 | 60 | 230 |
| Malta 5 | 30 | 200 |



Figura 13.- Equipo utilizado para el tostado de las maltas.

Análisis instrumentales

Análisis del grano

Humedad

Método de la AOAC, 1990.

Se colocó una cápsula de porcelana destapada, y la tapa, durante 1 hora en la mufla (Siborne Thermolyne 1300, mod. FB1315M, Iowa, USA) a 105°C.

Empleando pinzas, se trasladó la cápsula tapada al desecador y se dejó enfriar durante 30 a 45 min. Se pesó (balanza analítica OHAUS Explorer, Suiza) la cápsula con tapa hasta obtener una variación de 0.1g. Registrar (m1).

Se tomaron 5 g de granos de maíz previamente homogeneizados. Registrar (m2).

Se colocó la muestra en la cápsula destapada y la tapa en la estufa a la temperatura y tiempo recomendado (105 °C x 5 horas).

Se tapó la cápsula con la muestra, se sacó de la estufa, se dejó enfriar en el desecador durante 30 a 45 min y se repitieron estos pasos hasta que el peso de la muestra mostró una variación de peso menor a 0.01g (m3). El resultado, expresado en porcentaje, será igual a:

$$\%humedad = \left(1 - \frac{m3 - m1}{m2}\right) \times 100$$

Antocianinas

Para el análisis de antocianinas presentes en el grano de maíz se empleó la metodología seguida por Mex *et al*, 2013.

Se homogenizaron 0.25g de harina de maíz con 5.0ml de una solución de HCl (HYCEL, Reactivos Químicos, Cat 1348, México) 0.225N en etanol acuoso al 95% durante 24h en refrigeración. Posteriormente se centrifugaron (SOLBAT, V115, México) los extractos a 3000rpm por 5 minutos, el sobrenadante se colecto para su medición.

Se tomaron 0.2ml de la muestra y se añadió 1.8ml de la correspondiente solución tampón (ác. clorhídrico (J.T. Baker Reactivo Baker, 9535-05, Xalostoc, México) /cloruro de potasio (J.T. Baker S.A de C.V., 3040-01, Xolostoc, México) pH1, 0.025M; ác. acético (J.T. Baker S.A de C.V., 9507-60, México) /acetato de sodio (J.T. Baker S.A de C.V., Xolostoc, México), pH4.5, 0.4M y se midió la absorbancia (ThermoSpectronic Biomate3, 335904, Rochester, NY, EUA) frente a un blanco a 510 y 700nm. Los resultados se expresan en cianidina-3-glucósido por 100g de muestra. Las pruebas se realizaron por triplicado.

Los cálculos que se realizan para conocer la concentración son:

$$A = (A_{510} - A_{700})_{pH1} - (A_{510} - A_{700})_{pH4.5}$$

$$C = (A/\epsilon) \times (\text{volumen total del extracto}) \times MW \times (1/\text{peso de la muestra})$$

donde C es la concentración de antocianinas (cianidina 3-glucosido) en mg/g;

ϵ es la absorptividad molar =25965cm⁻¹M⁻¹;

MW es el peso molecular de la cianidina 3-glucosido =449.2.

Polifenoles totales

Para la cuantificación de polifenoles totales se empleó la metodología reportada por Gorriti *et al* en 2009 por medio del reactivo de Folin-Ciocalteu.

La cantidad de fenoles totales se determinó según el método de Folin-Ciocalteu usando ácido gálico (Sigma Chemical Co, 205-749-9, San Luis, EUA), como estándar, para esto se prepararon soluciones de 40, 80, 120, 160 y 200 ppm con las que se construyó la curva de calibración, dando un r²= 0,9994. El procedimiento para la evaluación de fenoles totales fue el siguiente, una alícuota de la muestra (0.2mL) se mezcló con 2mL del reactivo de Folin-Ciocalteu (HYCEL Reactivos Químicos, 2790, México) (10 %) dejándose en reposo por 3 min, seguidamente se mezclaron con 2mL de carbonato de sodio (J.T. Baker S.A de C.V. 3602, Xalostoc, México) al 7,5 % y la solución resultante se dejó en reposo por 2 horas a temperatura ambiente en oscuridad, las absorbancias de las muestras fueron leídas a 760nm en un espectrofotómetro UV-Vis. Todas las muestras fueron analizadas por triplicado, y los fenoles totales fueron expresados como equivalentes en miligramos de ácido gálico (GAE) por g de muestra.

Actividad antioxidante

La actividad antioxidante se midió por el método del radical DPPH utilizado por Quispe *et al*, 2011 ligeramente modificada.

Se evalúa la capacidad que tiene un posible antioxidante para neutralizar un radical; el 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (Sigma Aldrich Inc., 3050, EUA) (DPPH) es un radical estable que presenta una intensa coloración violeta y que absorbe radiación a 517nm.

Se procedió de la siguiente manera: 0.1ml de la muestra se mezclaron con 3.9ml de la solución 0.35mM del radical DPPH diluido 1:3 con etanol 80%, se homogenizó y se dejó protegido de la luz, a temperatura ambiente. Se midió la absorbancia a los 30 minutos en un espectrofotómetro a 517nm. La actividad antioxidante se reporta como mg de ácido gálico (para lo cual se realizó una curva patrón) así como en % de inhibición calculado como:

$$\text{Inhibición de DDPH (\%)} = [(A_o - A_e) / A_o] \times 100$$

Donde A_o y A_e , representan respectivamente la absorbancia sin extracto del DPPH y absorbancia con extracto.

Poder diastático de maltas

El poder diastático de las maltas de maíz se determinó con una adaptación del método de la EBC, publicado en la Analytical EBC, 2003.

La extracción de las enzimas se realizó en agua, en una proporción de 4% p/v (harina de malta/agua), durante 60 min. a 40°C con agitación. Después se enfría hasta temperatura ambiente y se centrifuga a 2500rpm durante 5 min para remover sólidos.

Se adicionan 0.5ml del extracto enzimático a 10ml de una solución de almidón (J.T. Baker S.A. de C.V., 4006-20-1, Xalostoc, México) al 1% con pH ajustado a 4.3 con buffer de acetatos. La hidrólisis se realizó a temperatura ambiente por 20min. La reacción se detuvo adicionando 0.4ml de hidróxido de sodio (HYCEL, Reactivos Químicos, 1406, México) 1M. Se preparó un blanco para las muestras con las mismas condiciones exceptuando la adición de extracto enzimático.

Se adicionaron 2.5ml de yodo (yodo (J.K. Baker, 7563-56-2, EUA)-yoduro de potasio (J.K. Baker S.A. de C.V., M-27994, Xalostoc, México)) 0.02M y 0.3ml de NaOH 1M a una alícuota de 0.5ml de la muestra a analizar, así como al blanco. Se dejó reaccionar 15min. y se agregaron 0.045ml de ácido sulfúrico 0.5M. Se tituló con tiosulfato de sodio (J.K. Baker, S.A. de C.V., 3946, Xalostoc, México) hasta desaparecer el color azul de la muestra.

La determinación de la actividad enzimática se cuantificó como 100% en relación a la actividad que presentó la malta de cebada:

$$PD\%=(V_{tc}-V_{tm})(100)/V_{tc}$$

Donde V_{tc} y V_{tm} son el volumen de titulante gastado en la muestra de malta de cebada y en la muestra de maíz respectivamente.

Análisis del chile

El chile guajillo fue adquirido en el Supermercado "Chedraui", de marca propia, presentación de 100g.

Contenido de capsaicinoides

El contenido de capsaicinoides se evaluó mediante la metodología reportada por Chinn *et al* en el 2011.

Para la extracción de capsaicinoides, 0.5g de muestra fueron homogenizados con 10ml de etanol 96% como solvente. La muestra y el solvente fueron homogenizados en tubos de

vidrio de 20ml y puestos en un baño a 50°C con agitación. Las muestras fueron filtradas y almacenadas en refrigeración hasta su análisis.

El análisis se efectuó utilizando un equipo de HPLC Agilent 1100, con una columna C18 Agilent Zorbax de 4.6x50mm con tamaño de partícula de 3.5µm, inyección manual y detector UV-Vis. Se corrieron estándares de capsaicina (Sigma-Aldrich, USA, 95% de pureza) para obtener una curva de calibración. La fase móvil se empleó con un flujo de 0.7ml/minuto, 40% acetonitrilo grado HPLC (J.K. Baker Solusorb, 75-05-8, EUA) 60% agua desionizada ajustada a pH 3 con ácido acético a 30°C. El detector se calibró a 278nm. Se tuvieron tiempos de retención del estándar de 10 minutos.

Compuestos volátiles

Los compuestos volátiles del chile se analizaron por el método reportado por Bogusz *et al*, 2012.

Se molió en licuadora (Sunbeam Mexicana S.A. de C.V., Osterizer Pulse-matic, México) cierta cantidad de chile guajillo con agua hasta obtener una pasta. Se colocaron 20g de esta pasta en viales de 40ml y se sellaron utilizando septos de PTFE/silicona. Los compuestos volátiles fueron extraídos por el método de SPME. La fibra utilizada fue de 65µm PDMS/DVB de la marca Supelco. La muestra fue colocada en baño a 50°C durante 15 min para permitir que llegara al equilibrio, posteriormente la fibra se expuso durante 40 min para la extracción.

Transcurrido el tiempo de exposición la fibra se inyectó en un cromatógrafo de gases HP de la serie 6890 con detector de ionización de flama. La temperatura del puerto de inyección fue 250°C, igual que la del detector. El modo de inyección fue splitless por 1 min. La columna una HP-5 de 30m x 0.25mm x 250µm. La temperatura del horno inició en 40°C con un gradiente de 6°C/min hasta llegar a 240°C, donde se mantuvo durante 4 min. Se utilizó nitrógeno como gas acarreador.

Se corrió una mezcla de alcanos (C5-C22, SUPELCO) bajo las mismas condiciones con la finalidad de obtener los Índices lineales de retención de temperatura programada LPTRI para comparar e identificar con lo reportado en la literatura.

Análisis del mosto

pH

La medición del pH se realizó con potenciómetro (Conductronic PC45) a temperatura ambiente utilizando soluciones de calibración pH 7 y 4. Se refiere a la medición del potencial de iones hidrógeno disueltos en la solución que se analiza, lo cual influye directamente el pH de la muestra.

Densidad

La densidad se midió con un densímetro (Wine and Beer Hydrometer, BrewinCraft, 0.990-1.160mg/ml) para alcohol tomando una muestra de 100ml en una probeta, introduciendo el densímetro y dándole un leve giro. Esperar a que se estabilice y realizar la lectura.

Azúcares reductores

La determinación de los azúcares reductores se realizó utilizando el reactivo de Lane-Eynon, con la reducción de cobre para la formación de un compuesto color amarillo.

Se tomaron 50ml de muestra previamente tratada (desgasificada, defecada con subacetato de plomo y diluida). Se llenó con ella una bureta y se procedió a la titulación de 10ml de la solución de Lane-Eynon (Tartrato de sodio y potasio, J.T. Baker S.A de C.V., 3262, Xalostoc, México; Sulfato de cobre pentahidratado, J.T. Baker S.A de C.V., 513180, Xalostoc; Hidróxido de sodio HYCEL Reactivos Químicos, 1406, México; ferrocianuro de potasio J.K. Baker S.A. de C.V., 3181, Xalostoc, México) en ebullición hasta la obtención de un color amarillo paja.

Los resultados se expresan de la siguiente manera:

$$\text{Azúcares reductores \%} = L * d * 10 / V$$

donde L es el factor de Lane-Eynon;

d es la dilución de la muestra, y

V es el volumen gastado de titulante.

Análisis de la cerveza verde

Acidez total

Calibrar el potenciómetro con soluciones pH 4 y 7.

Se colocaron 40ml de muestra desgasificada (mediante agitado magnético) a temperatura de 20°C en un vaso de precipitados que contenía un agitador magnético. El vaso se colocó en una parrilla con agitación, se sumergió el electrodo en el vaso y se encendió la agitación. Se tituló la muestra con NaOH 0.1N hasta llegar a un valor de 7.6 de pH. Después, y lentamente, se continuó la titulación hasta obtener un valor de pH de 8.2.

$$\text{Cálculo g \% ácido láctico} = (n \times 0,09 \times 10) / (V * g.e.)$$

donde n: ml de NaOH gastados y

V: volumen de muestra utilizado.

Densidad

La densidad se analizó con un densímetro (0.990-1.160mg/ml) para alcohol tomando una muestra de 100ml en una probeta, introducir el densímetro y darle un leve giro. Esperar a que se estabilice y realizar la lectura.

Análisis de la cerveza madura

Color

El color se midió utilizando el método de la ASBC. Consiste en medir la absorbancia de la muestra, degasificada (mediante agitado magnético) y centrifugada, en una cuba de 1cm de longitud a 430nm. El resultado se multiplica por 10.

pH

La medición del pH se realizó con potenciómetro a temperatura ambiente utilizando soluciones de calibración pH 7 y 4.

Acidez total

Calibrar el potenciómetro con soluciones pH 4 y 7.

Se colocaron 40ml de muestra degasificada (mediante agitado magnético) a temperatura de 20°C en un vaso de precipitados que contenía un agitador magnético. El vaso se colocó en una parrilla con agitación, se sumergió el electrodo en el vaso y se encendió la agitación. Se tituló la muestra con NaOH 0.1N hasta llegar a un valor de 7.6 de pH. Después, y lentamente, se continuó la titulación hasta obtener un valor de pH de 8.2.

$$\text{Cálculo g \% ácido láctico} = (n \times 0,09 \times 10)/(V * g.e.)$$

donde n: ml de NaOH gastados y

V: volumen de muestra utilizado.

Alcohol

El contenido de alcohol se determinó por picnómetro.

En un matraz bola de 250 ml, se agregaron 40 ml de muestra.

Se adicionaron perlas de ebullición y se destiló la muestra con ayuda de un equipo de destilación simple. Se recolectaron 30ml de la muestra y se aforó el picnómetro (25ml).

Se pesó el picnómetro vacío, con agua destilada (líquido de referencia), y el destilado obtenido a 20°C. El contenido de alcohol se obtuvo por medio de tablas (NTE INEN 2322 (2002): Bebidas alcohólicas. Cerveza. Determinación de alcohol)

Amargor

Se colocaron 2.5ml de muestra sin desgasificar en un tubo de ensaye. Se añadieron 0.25ml de ácido clorhídrico 3N. Posteriormente se agregaron 5ml de iso-octano, se agitó la muestra en vortex, evitando lo más posible la formación de emulsión y se centrifugó para la separación de fases. El sobrenadante se colectó y la absorbancia fue medida a 275nm utilizando iso-octano como blanco. Se repitió el proceso hasta que lecturas subsecuentes no presentaran variación.

Capsaicina

El contenido de capsaicina se determinó siguiendo el método utilizado para los extractos de chile, previa dilución (1:10) de la muestra en etanol al 96%.

Compuestos volátiles

Los compuestos volátiles se analizaron siguiendo la misma metodología que las muestras del chile. Se colocaron 10g de muestra desgasificada (mediante agitado magnético) en viales de 40ml agregando 2g de NaCl.

Antocianinas

Para el análisis de antocianinas presentes en la cerveza de maíz se empleó la metodología seguida por Mex et al, 2013, variando únicamente la preparación de la muestra. Las cervezas se desgasificaron y se filtraron antes de combinarlas con las soluciones buffer.

Polifenoles totales

La metodología para la cuantificación de polifenoles fue la referida por Gorriti *et al* (2009) mediante el uso del reactivo de Folin-Ciocalteu.

Capacidad antioxidante

La actividad antioxidante se midió por el método del radical DPPH utilizado por Quispe *et al*, 2011 ligeramente modificada.

Análisis Sensorial

Análisis descriptivo cuantitativo (QDA)

El análisis descriptivo cuantitativo se realizó con un panel de jueces previamente entrenados en el laboratorio de análisis sensorial de la UAM-I. Las evaluaciones consistieron en evaluar los 42 atributos para cada cerveza (generados por los jueces) y marcar sobre una escala no estructurada (lineal de 15cm) la intensidad percibida del atributo en la muestra. Las muestras se evaluaron con repetición.

Prueba de nivel de agrado (escala hedónica), comparación entre cerveza de malta base y cerveza con tratamientos de tostado

Se realizó la prueba de nivel de agrado de cervezas con diferentes tratamientos, siendo malta base, tratamiento de tostado 1 y tratamiento de tostado 3 las que se compararon. Esto con la finalidad de conocer si los tratamientos de tostado influían en el nivel de agrado de la cerveza. Se aplicó un cuestionario de usando escala hedónica de 9 puntos donde 1 era el máximo de agrado y 9 el máximo de rechazo. Se encuestaron 40 jueces no entrenados, de entre 20 y 65 años, consumidores de cerveza. Las muestras eran presentadas sucesivamente, en orden aleatorizado, el juez probaba cada una y la calificaba.

Prueba de ordenamiento, nivel de agrado (escala hedónica) y JAR para los 4 tratamientos de tostado

El análisis se realizó en diferentes zonas de la Ciudad de México. Los jueces eran personas de entre 20 y 55 años, sin distinción de género, que consumieran cerveza regularmente y de preferencia que estuvieran familiarizados con cervezas artesanales. Se realizaron 45 encuestas.

La encuesta constaba de tres secciones, en la primera realizaban la prueba de nivel de agrado (escala hedónica de 9 punto), en la segunda contestaban la escala JAR de 5 puntos para los tres atributos evaluados (tostado, pungencia, amargor). Las dos primera partes se realizaban muestra por muestra. Una vez que hubieran evaluado las cuatro muestras hasta éste punto se les pidió que ordenaran las muestras según su preferencia. El análisis de los datos se realizó empleando los programas NCSS y XLSTAT.

Prueba discriminativa entre tratamientos con más y menos chile

Esta prueba fue realizada siguiendo una metodología ranking. La finalidad era saber si existen diferencias perceptibles entre las muestras que fueron elaboradas con 10% de chile y las que fueron elaboradas con 20%. Los evaluadores fueron jueces no entrenados (consumidores), de entre 20 y 40 años, consumidores de cerveza y de chile. Se realizaron 30 encuestas. Las 4 muestras (2 con 10% de chile y 2 con 20%) fueron presentadas al mismo tiempo, los jueces probaban las 4 y después las ordenaban en orden descendente según eran percibidas en cuanto la cantidad de chile que contenían. Los tratamientos evaluados en esta etapa fueron el tratamiento 2 y el tratamiento 3.

Resultados y Discusión

A continuación se detallan los resultados obtenidos durante la parte experimental de este proyecto y se presenta una explicación que ayuda a comprenderlos y validarlos.

Caracterización del maíz rojo y maltas de maíz rojo. Humedad, Poder diastásico y Compuestos bioactivos

En cuanto a la humedad, el maíz rojo empleado para la elaboración de la malta contiene $13.7\% \pm 0.6$. La malta base obtenida tiene un contenido de humedad de $7.9\% \pm 0.60\%$.

Las maltas que recibieron tratamientos de tostado, tuvieron humedades inferiores a las que se encontraron en maíz rojo y malta de maíz (cercasas a 1%). Esto debido a que el tratamiento térmico promueve la eliminación de agua en las muestras.

Respecto a estos valores se puede comentar que un 8% de humedad es un valor aceptable para la estabilidad de la malta, ya que las maltas de cebada utilizadas en la fabricación de cerveza se encuentran entre 5 y 8% de humedad. Esto cobra importancia por dos aspectos, uno referente a la posible contaminación con hongos, que empiezan a crecer por arriba del 12% de humedad; por el otro lado, un alto contenido de agua en la malta implicaría una disminución en el aporte de nutrientes como carbohidratos, proteínas, vitaminas, etc. que serán sustituidos por agua en la composición del grano. Debido a esto un almacenamiento relativamente corto de la malta es necesario para evitar su aumento en el contenido de humedad y con ello deteriorar su calidad. Los valores normales de humedad para maltas tostadas van desde 3 y hasta 1% (Baxter y Hughes, 2004).

El poder diastásico (PD), que se refleja en la capacidad de la malta de convertir el almidón en azúcares fermentables, se determinó usando como referencia el PD de la malta Pale Ale de cebada, esto para eliminar las diferencias entre la naturaleza de los cereales y el factor de conversión utilizado en la ecuación original. Los resultados nos dicen que la malta base de maíz rojo tiene el 35% del poder diastásico encontrado en la malta de cebada. Estos valores concuerdan con lo reportado por Taylor *et al* en el 2013, observándose, en maltas de maíz, valores de enzimas alfa y beta amilasa por debajo de la mitad de los valores encontrados en maltas de cebada. En este mismo trabajo se menciona que Dziedzoave *et al* del 2010 encontraron resultados similares. A pesar de este relativamente bajo poder diastásico, o contenido de enzimas amilasas, el principal parámetro derivado de ello, que es el contenido final de alcohol, se encuentra en niveles aceptables (3-4%). Con respecto a las maltas tostadas de maíz, se ve como el tratamiento térmico va degradando las enzimas ya que como es bien sabido, al ser proteínas, son susceptibles a la degradación térmica. Este mismo comportamiento se observa en maltas de cebada.

Las siguientes tablas presentan los valores obtenidos para cada muestra. Para facilitar la presentación de los datos se especifica que de ahora en adelante cada malta tostada será mencionada como tratamiento 1, 2, 3, 4 y 5, y cada una corresponde a las siguientes condiciones:

Tabla 6.- Condiciones de tostado de las maltas.

| Nombre | Temperatura (°C) | Tiempo (min.) |
|---------------|------------------|---------------|
| Tratamiento 1 | 170 | 10 |
| Tratamiento 2 | 170 | 60 |
| Tratamiento 3 | 230 | 10 |
| Tratamiento 4 | 230 | 60 |
| Tratamiento 5 | 200 | 30 |

Tabla 7.- Valores obtenidos para las muestras, humedad y poder diastásico.

| Muestra | Humedad % | Poder diastásico (% respecto a la cebada) |
|---------------|-------------|---|
| Maíz rojo | 13.7±0.60 a | NA |
| Malta base | 7.9±0.60 b | 35±6 |
| Tratamiento 1 | 1.3±0.60 c | 10±5 |
| Tratamiento 2 | 1.0±0.25 c | 10±6 |
| Tratamiento 3 | 0.8±0.25 c | 8±2 |
| Tratamiento 4 | 1.3±0.20 c | 7±3 |
| Tratamiento 5 | 1.0±0.25 c | 10±2 |

Letras agrupan de acuerdo a la significancia estadística (Anova, $\alpha=0.05$).

NA: No aplica

El contenido de compuestos bioactivos en los maíces y maltas se presenta en la tabla 8. Con la finalidad de saber cómo el efecto de tostado afecta los contenidos de estos compuestos se realizó el tostado del maíz, sin maltear, y se analizó como las demás muestras.

Tabla 8.- Resultados de los contenidos de compuestos bioactivos en maíz y maltas.

| Muestra | Antocianinas (mg eq. de 3-cianidin-glucósido/100g) | Polifenoles totales (mg eq. de ác. gálico/100g) | Capacidad antioxidante (mg eq. de ác. gálico/100g) | Capacidad antioxidante (% de inhibición) |
|---------------|--|---|--|--|
| Maíz rojo | 21.92±3.2 a | 87.26±5.1 a | 136.03±2.9 a | 30±1 |
| Maíz tostado | 3.3±0.36 c | 134.28±0.36 b | 139.56±3.7 a | 30±4.3 |
| Malta base | 15.09±0.77 b | 179.98±5.1 c | 139.28±14 a | 30±3.0 |
| Tratamiento 1 | 3.41±0.78 c | 285.52±10.9 d | 174.19±8.0 b | 37±1.5 |
| Tratamiento 2 | 2.78±0.93 c | 292.60±6.7 d | 198.20±4.7 c | 44±1 |
| Tratamiento 3 | 1.25±0.86 c | 332.92±18.7 e | 197.09±9.4 c | 41±1.5 |
| Tratamiento 4 | 0.00±0 c | 366.79±8.5 f | 193.23±7.5 b, c | 41±1.1 |
| Tratamiento 5 | 0.58±1 c | 320.23±13.8 d,e | 197.42±5.9 c | 42±1.1 |

Letras agrupan de acuerdo a la significancia estadística (Anova, $\alpha=0.05$; Anexo estadístico 1.1).

En cuanto a los contenidos de antocianos, polifenoles y capacidad antioxidante se puede comentar que, tanto en el grano de maíz rojo como en su malta base, los valores encontrados de antocianinas (15.1 en la malta y 21.9 en el maíz) son congruentes por los reportados por otros autores para esta especie (Mendoza, 2012; Mex *et al*, 2013; Salinas *et al*, 2012; Mora *et al*, 2010; Del Pozo *et al*, 2006) e incluso son también comparables con valores reportados de antocianinas para uvas tintas, que van desde 82mg/100g de uva para Tempranillo hasta 150mg/100g de uva para Cabernet Sauvignon (Valls *et al*, 2000). Cabe destacar que estas comparaciones serán más cercanas y válidas cuando se toma como referencia los valores obtenidos para el maíz rojo sin maltear, ya que el proceso de malteado conlleva cierta degradación de estos compuestos, debido al tratamiento térmico. Para más referencias sobre valores de antocianinas encontrados para maíces pigmentados se puede consultar el trabajo publicado por Escalante *et al*, 2013, donde se publica una lista de resultados obtenidos por diversos autores, clasificándolos desde bajo contenido de antocianinas hasta alto contenido. Estos valores varían entre los 5mg/100g hasta los 3000mg/100g, reportados como mg eq. de 3-cianidin-glucósido/100g. En las maltas tostadas es evidente su degradación, esto debido a que son compuestos termolábiles, por lo que son destruidos en el proceso de tostado (Mendoza, 2012; Cuevas *et al*, 2008).

A pesar de esta degradación, los contenidos de antocianinas en la cerveza de maíz rojo malteado se encuentran por arriba de los encontrados en cervezas de cebada. Esto era esperado ya que la cebada empleada en cervecería comúnmente no es fuente de antocianinas como sí lo son los maíces pigmentados, lo que le da ventajas como mejor fuente de compuestos antioxidantes, debido a que las antocianinas, contenidas en frutas y cereales, presentan actividad antioxidante (Escalante *et al*, 2013). Comparando con una bebida que es

conocida como fuente de antocianinas, el vino tinto, los valores reportados varían desde 50mg/l y hasta 290mg/l reportados como malvidina-3-glucósido (Muñoz *et al*, 2007; Fernández *et al*, 2007; Nyman, N. y Kumpulainen, J. 2001), lo que nos indica que no podría competir contra vinos en lo que respecta al aporte de antocianinas.

En un trabajo realizado por Nava en el 2009 donde se efectúa el seguimiento, entre otros parámetros, de los contenidos de antocianinas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante durante la elaboración de tesgüino (bebida fermentada de maíz) hecho con maíz azul, se reporta una pérdida cercana al 85% de las antocianinas presentes en el maíz con respecto a las que se encuentran presentes en la bebida fermentada (de 80mg/100g en el maíz hasta 9.45mg/100g de sólidos en tesgüino). Esto se atribuye principalmente al pH, la aireación durante el proceso y la aplicación de temperaturas. Diversos autores (Camacho, *et al*, 2011; Rojano, B. *et al*, 2012; Aguilera M., 2011 Cuevas *et al*, 2008, Escalante *et al*, 2013) concuerdan en que el pH, a valores arriba de 2, altas temperaturas así como el oxígeno pueden provocar la transformación de antocianinas a sus formas incoloras.

Existen igualmente otros trabajos que reportan contenidos de antocianinas para diferentes frutos, cereales y leguminosas. Por ejemplo Raghvendra *et al* en el 2011 reportaron valores de 2000mg/100g de antocianinas para la soya negra; Mercadante y Bobbio en el 2008 reportaron 322mg/100g para la col morada y valores entre 2 y 40 para papa morada; Bridle y Timberlake en 1997 reportaron valores de 250mg/100g para uvas tintas. Diversos factores afectan en los rendimientos de extracción para cada trabajo, por ejemplo, Gorriti en el 2009 evaluó la influencia de distintas temperaturas y tiempos de extracción de antocianinas de corontas (olote) de maíz, encontrando que para valores de temperatura entre 75 y 90°C las extracciones eran más eficientes, reflejándose como resultados más altos en las cuantificaciones, mientras que los tiempos de 2-4horas daban las concentraciones más altas, tanto de antocianinas como polifenoles totales. Takahito *et al*, 2007 señalan que extracciones con etanol acuoso y valores de pH ácidos dan los mejores resultados.

Igualmente, los valores reportados por los autores antes citados (Mendoza, 2012; Mex *et al*, 2013; Salinas *et al*, 2012; Mora *et al*, 2010; Del Pozo *et al*, 2006), con respecto a polifenoles totales en maíces son congruentes con los encontrados durante este trabajo. Se observa un aumento en el contenido de polifenoles en las maltas de maíz con respecto a lo obtenido para el maíz sin maltear, e incluso se observa un incremento significativo (Anexo estadístico 1.2) en la cantidad de estos compuestos, según las determinaciones realizadas, que se ve afectada por la intensidad del tratamiento térmico. El hecho de que en las maltas se cuantifiquen cantidades mayores de polifenoles que en el maíz parece ser contradictorio a lo encontrado por otros autores, debido a que se ha observado que los contenidos de

polifenoles disminuyen cuando son sometidos a tratamientos térmicos (Camacho *et al*, 2011; Rojano *et al*, 2012), sin embargo, dos explicaciones pueden ser mencionadas con respecto a este tema. La primera tiene que ver con cambios ocurridos en el grano durante la germinación, y que se ha comprobado en trabajos como los de Nava del 2009, Aguilera *et al* del 2015, Pajak *et al* del 2013, Perales *et al* del 2014, donde se muestra que durante el malteado (germinación) se elevaban las concentraciones de polifenoles totales en los granos estudiados, esto debido a que diversos mecanismos de defensa se desencadenan en las semillas, entre ellos la síntesis de fenoles como defensa a los radicales libres formados dentro de la semilla durante su activación metabólica, así se daría un incremento en la concentración de polifenoles en la malta con respecto a los encontrados en el maíz. Aunado a esto, los productos de la reacción de Maillard en el tostado presentan estructuras, si no igual a las de los polifenoles, muy similares (anillos con insaturaciones y OH) los cuales podrían actuar como reductores del reactivo de Folin (Langner y Rzeski, 2013). El aumento en el contenido de polifenoles con relación al tratamiento de tostado (productos de Maillard) se puede ver con la comparación entre maíz y maíz tostado, que sin haber sido malteado también presenta un aumento significativo del contenido de polifenoles. Es importante señalar que los autores que reportan la degradación de polifenoles por efecto de temperatura, han estudiado el fenómeno en medios acuosos y condiciones con las que no se favorecen las reacciones de Maillard, como sí pasa en las condiciones utilizadas en este trabajo. La segunda explicación es que los azúcares y aminoácidos producidos durante la germinación por la degradación de almidón y proteínas, aunque no son polifenoles, pueden llegar a presentar capacidad reductora por lo que podrían estar presentando falsos positivos en los resultados si se encuentran presentes en las condiciones y concentraciones suficientes. Éste último fenómeno puede descartarse debido a que la cantidad de azúcares reductores presentes será baja ya que su producción a partir del almidón en esta etapa es de sólo alrededor del 10%, los cuales son utilizados para el desarrollo del embrión y que de igual forma, buena parte de los aminoácidos libres son empelados para síntesis de enzimas (Varnam, 1997). La capacidad antioxidante tiene un comportamiento similar al de los polifenoles, mostrándose un incremento en la capacidad de las muestras para neutralizar al radical DPPH (Anexo estadístico 1.3)

Un análisis de Anova con $\alpha=0.05$ (anexo estadístico 1.1 y 1.2) demostró que el factor que más afecta el comportamiento tanto de antocianinas como de polifenoles durante el tostado de las maltas es la temperatura, ya que ni el actor tiempo ni la interacción entre tiempo y temperatura resultaron significativos.

Caracterización del chile guajillo. Capsaicina y Compuestos Volátiles

Las muestras analizadas de chile guajillo dieron como promedio de contenido de capsaicina 199.34mg/kg de muestra. Esto corresponde a 2,990 unidades Scoville, utilizando la conversión de 15 unidades Scoville (AOAC) por cada mg de capsaicina/kg de chile. En tablas donde se reportan las unidades Scoville para diversos chiles, salsas y otros compuestos pungentes se establece que el chile guajillo se encuentra en un valor de entre 3,000 y 5,000 (NMX-FF-107/1-SCFI-2006) es, lo cual concuerda con lo obtenido. Con base a este valor, la norma clasifica este tipo de chile como “picante”. A pesar de que se tiene la creencia popular de que existen dos clases de chile guajillo, que se diferencian por su tamaño y pungencia (mientras más pequeño más picante) la norma no hace ninguna referencia sobre esta relación, separando los chiles únicamente, de acuerdo a su tamaño, en calidades: extra, primera, segunda; y sin hacer distinción en su pungencia.

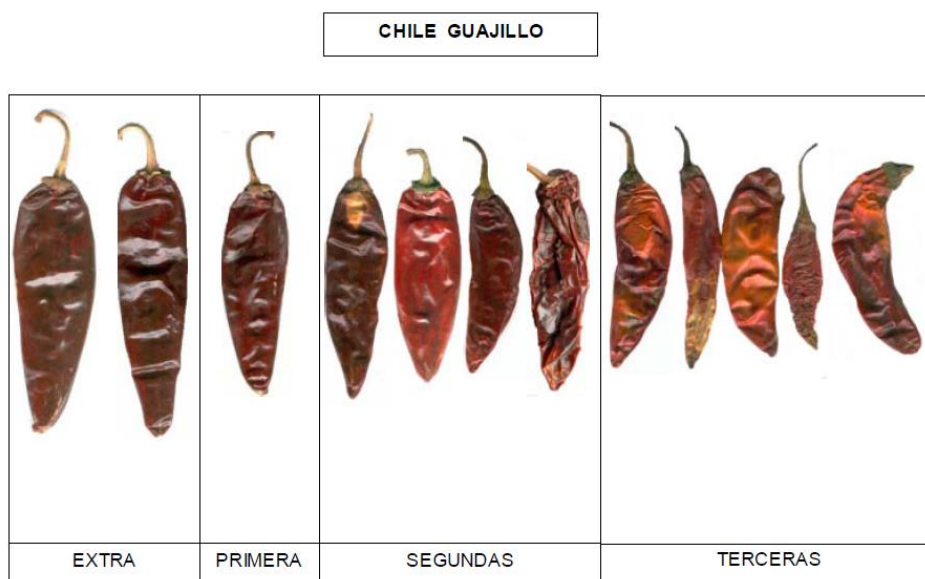


Figura 14.- Clasificación del chile guajillo según su tamaño.

Está reportado que el umbral de detección sensorial para la capsaicina cuando se diluye en agua es de 0.05mg/l (Orellana *et al*, 2012). Debido a que la cerveza es una matriz mucho más compleja que el agua, donde muchos sabores y sensaciones pueden enmascarar la pungencia del chile, y a pesar de que los valores encontrados analíticamente son superiores al valor umbral reportado, la mayoría de los jueces, en el presente trabajo, no detectaron la sensación característica que provoca al probar las muestras. En los casos en que sí fue detectado, se calificó como menor a lo esperado, como se observa en los gráficos del JAR.

En cuanto a los compuestos volátiles, debido a que el interés primordial era encontrar los compuestos en la cerveza que le dan el sabor a chile, después de analizar las muestras de chile y todas las muestras de cerveza bajo las mismas condiciones, se acomodaron los picos con base en su tiempo de retención, logrando así resaltar varios de interés, debido a que se encontraron tanto en las muestras de chile analizadas como en todas las muestras de cervezas. Posteriormente se analizó una muestra de cerveza sin chile, con la finalidad de descartar picos que no fueran representativos del aroma a chile. Después de esta depuración se obtuvieron 10 picos de compuestos como los posibles responsables de que las cervezas de maíz conservaran sabor a chile al final del proceso de elaboración. Estos corresponden a los siguientes tiempos de retención: 9.36, 10.07, 13.33, 16.88, 18.82, 18.94, 19.45, 21.48, 22.29 y 22.38.

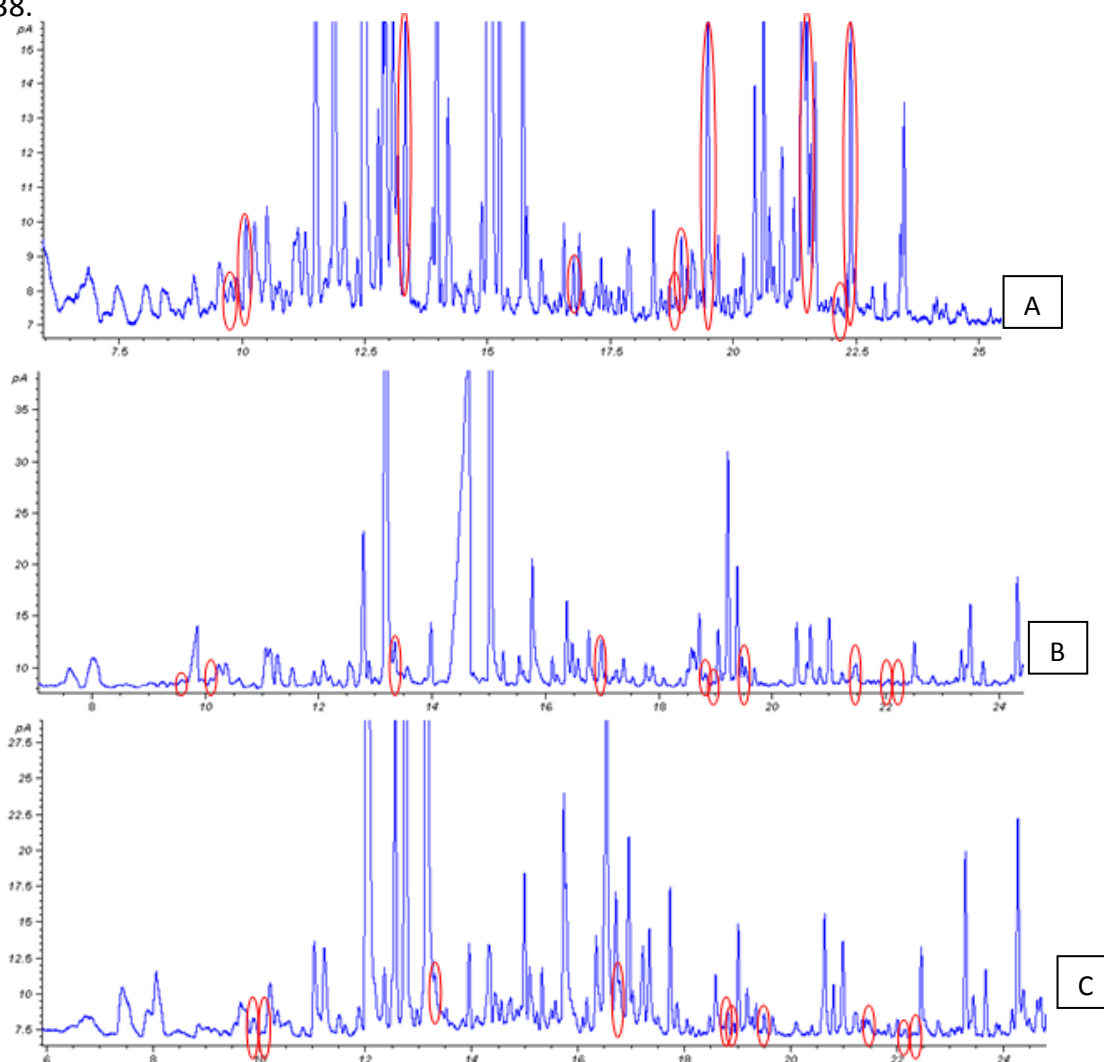


Figura 15.- Cromatogramas de los compuestos volátiles, chile guajillo (A), a la cerveza tratamiento 2 (B), cerveza tratamiento 3 (C). En rojo, picos de interés.

Posteriormente se corrió la mezcla de alcanos para obtener el índice lineal de retención de temperatura programada para cada compuesto, LPTRI por sus siglas en inglés (d'Acampora et al, 2008) los cuales fueron utilizados para la identificación tentativa de los compuestos de interés. Al comparar los índices calculados con los reportados en la bibliografía (Bogusz et al, 2012) únicamente cinco compuestos pudieron ser tentativamente identificados (etil hexanoato, isopentil isobutirato, 3-metil hexil butirato o heptil isobutanoato, 5-decenil acetato y 7-hexadecano). Para los 5 restantes picos, los índices calculados quedaron fuera del rango de los reportados (superior a 1700).

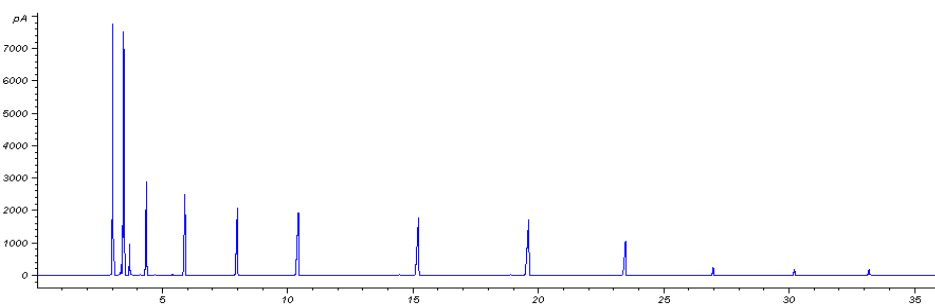


Figura 16.- Cromatograma de la serie de alcanos.

Se realizaron también cálculos de índice de Kovats, para comparar con lo reportado por Garruti et al, 2013. En esta ocasión, la mayoría de los índices calculados quedaron por debajo de lo que está reportado (es necesario tomar en cuenta que el alcano de menor tamaño usada por Garruti et al fue C9). Sin embargo, los dos últimos compuestos tentativamente corresponden al α -citronelo y al hexenil-2-metilbutanoato.

Tabla 9.- Tiempos de retención e índices de los compuestos probables de interés.

| TR de los picos de interés | IK | Identificación tentativa | LPTRI | Identificación tentativa |
|----------------------------|------|--------------------------|-------|--|
| 9.36 | 818 | - | 956 | etil hexanoato |
| 10.07 | 821 | - | 1027 | isopentil isobutirato |
| 12.33 | 842 | - | 1245 | 3-metil hexil butirato o heptil isobutanoato |
| 16.88 | 1026 | - | 1378 | 5-decenil acetato |
| 18.82 | 1036 | - | 1766 | - |
| 18.94 | 1036 | - | 1790 | - |
| 19.45 | 1038 | - | 1892 | - |
| 21.48 | 1219 | - | 1606 | 7-hexadecano |
| 22.29 | 1223 | α -citronelo | 1768 | - |
| 22.38 | 1223 | hexenil-2-metilbutanoato | 1786 | - |

(-) sin identificación tentativa.

La principal diferencia entre los dos tipos de índice radica en que en el índice de Kovats se analizan logaritmos del tiempo de retención mientras que en el PRTI se analizan directamente los tiempos de retención. Al comparar las listas de compuestos que estos autores lograron identificar durante sus trabajos así como los índices que reportan, es posible notar que en algunos casos, el valor de los índices coincide, o es muy similar, mientras que en otros casos, dos índices iguales corresponden a compuestos diferentes, o el mismo compuesto está reportado con índices diferentes (que difieren al menos en 30 unidades). Debido a esto, la confianza de identificación mediante comparación con estos índices no es alta, por lo cual la confirmación de la identidad de los compuestos a través de métodos como el de cromatografía acoplada a detector de masas o la espectrometría es recomendable.

Otro punto importante es que en comparación, las cervezas con mayor contenido de chile en la formulación no presentaron áreas significativamente mayores en ninguno de los picos de compuestos probablemente responsables del sabor a chile, exceptuando el correspondiente al tiempo de 19.45 min (el cual quedó sin identificación tentativa). De cualquier manera, las áreas en todos los casos, tanto en el chile como en las cervezas, eran áreas relativamente pequeñas (menores a 20 en la mayoría de los casos, no llegando a los 50 en las mayores) comparando con picos de compuestos presentes en mayor concentración (superaban las 100 unidades).

Caracterización fisicoquímica de cervezas de maíz rojo y cervezas comerciales



Figura 17.- Cervezas de maltas de maíz rojo. De derecha a izquierda, malta base, tratamiento 1, 2, 3, y 4.

El color de las cervezas fue medido utilizando el método estándar de referencia de la ASBC, encontrándose valores, de derecha a izquierda, de 8, 12, 14, 15 y 18. La intensidad del color varía, y es congruente, con la intensidad del tratamiento térmico dado a las maltas tostadas. Este color viene dado principalmente por productos de la reacción de Maillard conocidos como melanoidinas (Bamfort, 2006; Hardwick, 1995).



Figura 18.- Color de las cervezas, método de la ASBC.

En cuanto a los contenidos de capsaicina en cervezas, se presenta una tabla con los resultados, tanto para los tratamientos originales como para los adicionados con más chile.

Tabla 10.- Cuantificación de capsaicina en cervezas y su equivalencia en unidades Scoville.

| Tratamiento | mg de cap/l | SHU |
|-----------------------------|-------------|---------|
| Malta base | 25.43 a | 381.42 |
| Tratamiento 1 | 48.25 b | 723.74 |
| Tratamiento 2 | 42.13 b | 631.95 |
| Tratamiento 3 | 38.63 b | 579.50 |
| Tratamiento 4 | 33.00 a | 494.88 |
| Tratamiento 2 con más chile | 80.17 b | 1202.60 |
| Tratamiento 3 con más chile | 49.23 b | 738.48 |

Letras agrupan de acuerdo a la significancia estadística (Anova, $\alpha=0.05$).

Los contenidos de capsaicina en todos los tratamientos fue superior al umbral reportado para este compuesto, sin embargo las unidades Scoville (SHU) quedan en el rango reportado para chiles y sustancias pungentes poco picantes o sin picor (0-500 unidades). Un análisis estadístico (Tukey-Kramer, $\alpha=5\%$) demostró que la diferencia de contenido en los tratamientos únicamente es significativa entre el tratamiento 1 y el tratamiento 4 con el resto de los tratamientos (Anexo estadístico 2). Estos bajos contenidos de capsaicina en la cerveza se deben a la forma en que se incorpora el chile es para hacer una extracción en agua y como es sabido la capsaicina no es soluble en agua por lo que posiblemente solo se extraigan pequeñas cantidades del chile. Otro factor que puede afectar es que debido a la

baja solubilidad se dé una tendencia a separarse hacia la superficie o fondo del contenedor durante la fermentación, cuando el líquido se enfría, lo que podría dar como resultado su separación del medio por y con ello un bajo contenido en la cerveza final, ya que durante el envasado, tanto la parte superior como la inferior son descartadas. Por último, es sabido que la capsaicina puede ser degradada por condiciones de altas temperaturas (Henderson y Henderson, 1992), lo que se da durante la cocción del mosto, obteniéndose mayoritariamente 8-metil-6-nonenamida, vainillina y ácido 8-metil-6-nonanoico como productos, por lo que posiblemente parte de la cantidad que se extrae durante este periodo sufra un proceso de degradación.

A continuación se describen los resultados de las caracterizaciones fisicoquímicas de las cervezas analizadas. Estas son: cerveza elaborada con malta base de maíz rojo, cerveza elaborada con 20% de malta tratamiento 1, con 20% de malta tratamiento 2, con 20% malta tratamiento 3, con 20% malta tratamiento 4, cerveza industrial Barrilito, cerveza industrial Indio, cerveza artesanal Minerva Imperial Stout y cerveza artesanal Irish Red Ale elaborada en el laboratorio de enología (S-152) de la UAMI, así como los datos de las cervezas elaboradas con maltas 2 y 3 en cuya formulación se aumentó la cantidad de chile. Para las cervezas que sirven de referencia (Barrilito, Grupo Modelo; Indio, Cuauhtémoc-Moctezuma; Imperial Stout, Minerva), únicamente se presentan los datos en cerveza madurada.

Tabla 11.- Resultados de la caracterización fisicoquímica de mostos de cerveza de maíz rojo en sus diversos tratamientos.

| Tratamiento | Densidad | pH | Acidez (%ác. láctico) | Azúcares reductores (% dextrosa) |
|----------------------------------|----------|-------------|-----------------------|----------------------------------|
| Malta base | 1.04 | 5.88±0.05 a | 0.10±0.002 a | 1.6±0.16 a, c |
| Base/Tratamiento 1 | 1.04 | 5.53±0.03 b | 0.10±0.002 a | 2.47±0.10 b, c, d |
| Base/Tratamiento 2 | 1.04 | 5.63±0.02 c | 0.10±0.003 a | 2.23±0.30 a, b, c, d |
| Base/Tratamiento 3 | 1.03 | 5.48±0.02 b | 0.10±0.002 a | 2.34±0.15 b, c, d |
| Base/Tratamiento 4 | 1.042 | 5.37±0.02 d | 0.142±0.002 b | 5.70±0.45 e |
| Base/Tratamiento 2 con más chile | 1.03 | 5.87±0.02 a | 0.08±0.006 c | 3.6±0.14 f |
| Base/Tratamiento 3 con más chile | 1.03 | 5.72±0.02 e | 0.11±0.003 d | 2.7±0.27 b, c, d |

Letras agrupan de acuerdo a la significancia estadística (Anova, $\alpha=0.05$; Anexo estadístico 3.1).

Tabla 12.- Resultados de la caracterización fisicoquímica de cervezas verdes de maíz rojo en sus diversos tratamientos.

| Tratamiento | Densidad | pH | Acidez (%ác. láctico) | Azúcares reductores (% dextrosa) |
|----------------------------------|----------|-------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Malta base | 1.016 | 4.70±0.60 a, c, f | 0.29±0.005 a | 0.683±0.02 a |
| Base/Tratamiento 1 | 1.016 | 3.98±0.60 b | 0.28±0.006 a | 0.404±0.08 b |
| Base/Tratamiento 2 | 1.020 | 4.63±0.02 a, c, f | 0.26±0.005 b | 0.867±0.08 c |
| Base/Tratamiento 3 | 1.014 | 4.72±0.060 a, c | 0.18±0.006 c | 0.661±0.08 a |
| Base/Tratamiento 4 | 1.016 | 4.41±.020 d, e | 0.32±0.003 d | 0.894±0.06 c |
| Base/Tratamiento 2 con más chile | 1.01 | 4.50±0.03 d, e, f | 0.40±0.006 e | 0.490±0.09 b |
| Base/Tratamiento 3 con más chile | 1.016 | 4.6±0.02 a, e, f | 0.26±.002 b | 0.681±0.07 a |

Letras agrupan de acuerdo a la significancia estadística (Anova, $\alpha=0.05$; Anexo estadístico 3.2).

Tabla 13.- Resultados de la caracterización fisicoquímica de cervezas maduras de maíz rojo en sus diversos tratamientos y cervezas comerciales.

| Malta | Densidad | pH | Acidez (%ác. láctico) | Azúcares reductores (% dextrosa) | Alcohol %v/v | Amargor IBU's |
|----------------------------------|----------|--------|-----------------------|----------------------------------|------------------|--------------------|
| Base | 1.016 | 4.68 a | 0.162±0.015 a | 0.42±0.25 a, b, c | 2.33±0.29 a, b | 14.3±0.79 a, c, e |
| Base/Tratamiento 1 | 1.016 | 4.31 b | 0.144±0.005 a | 0.20±0.26 a, b | 3.3±0.29 a, b, c | 11.83±0.63 b |
| Base/Tratamiento 2 | 1.02 | 4.71 a | 0.155±.003 a | 0.93±.12 a, c | 3.1±0.5 a, b, c | 15.38±0.35 a |
| Base/Tratamiento 3 | 1.013 | 4.60 a | 0.153±0.05 a | 0.49±0.24 a, b, c | 3.5±0.58 b, c | 15.52±0.32 a, c, e |
| Base/Tratamiento 4 | 1.01 | 4.26 b | 0.233±0.012 b | 0.83±0.05 a, b, c | 4.5±0.4 c, d | 20.43±1 d |
| Base/Tratamiento 2 con más chile | 1.01 | 4.60 a | 0.146±0.003 a | 0.43±0.34 a, b, c | 3.0±0.1 a, b, c | 11.65±0.24 b |
| Base/Tratamiento 3 con más chile | 1.01 | 4.34 b | 0.154±0.006 a | 0.52±0.28 a, b, c | 2.5±0.3 a, b, c | 12.85±0.69 b, c, e |
| Minerva Imp. Stout | 1.01 | 4.2 c | 0.27±0.01 b | 0.43 ±0.60 a, b, c | 5.6±0.5 e | 26±0.7 f |
| Irish Red Ale | 1.012 | 4.22 b | 0.387±0.03 c | 0.48±0.65 a, b, c | 8.17±0.3 f | 20.5±1.3 g |
| Indio | 1.01 | 3.8 d | 0.10±0.01 d | 0.23 ±0.03 a, b | 4±0.3 b, c, d | 12±1.5 b, c, e |
| Barrilito | 1.01 | 4.1 c | 0.08±0.01 d | 0.31±0.08 a, b, c | 3.58±0.2 b, c | 11.5±2 b, c |

Letras agrupan de acuerdo a la significancia estadística (Anova, $\alpha=0.05$; Anexo estadístico 3.3).

Tabla 14.- Resultados obtenidos de la cuantificación de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en las cervezas analizadas.

| Malta | Antocianinas (mg eq. cianidina-3-glucósido/L) | Polifenoles totales (mg eq. ácido gálico/L) | Capacidad antioxidante (mg eq. ácido gálico/L) | Capacidad antioxidante (% de inhibición) |
|------------------------------------|---|---|--|--|
| Base | 15.17±0.85 a | 381.57±4.16 a | 111.81±3.66 a | 48.07±1.53 |
| Cerveza de maíz rojo; Romero, 2012 | 7.5±1.1 | 657±10 | 73±3.86 | NR |
| Base/tratamiento 1 | 11.83±0.40 b | 446.97±3.06 b | 112.56±8.98 a, b | 48.33±3.21 |
| Base/Tratamiento 2 | 10.5±1 b | 468.66±15 b, c | 125.5±1.5 b | 53.8±0.51 |
| Base/tratamiento 3 | 10.67±1.15 b | 459.63±22.65 b, c | 132.97±19.14 b, c | 56.33±7.37 |
| Base/Tratamiento 4 | 9.8±0.8 b | 497.73±15.04 c | 150.76±5 c | 70.3±2 |
| Base/Tratamiento 2 con más chile | 6.97±0.49 c | 433.30±10.49 b | 130.64±1.29 b, c | 61.2±0.50 |
| Base/Tratamiento 3 con más chile | 7.55±0.53 c | 407.99±50.33 a, b | 123.75±6.98 b | 55±3.17 |
| Artesanal Minerva Imp. Stout | 0.56±0.9 d | 475±12 b, c | 206±25 d | 79±5.0 |
| Irish red ale | 0.57±0.52 d | 576.37±90.58 d | 192.51±2.92 d | 80.33±0.91 |
| Industrial Indio | 1.1±0.4 d | 297±7 e | 80±11 e | 36±3 |
| Industrial Barrilito | 0 d | 217.4±4 f | 57±1 f | 25±0.5 |
| Cervezas artesanales; Romero, 2012 | 0.08-3.7 | 313-465 | 50-74 | NR |

Letras agrupan de acuerdo a la significancia estadística (Anova, $\alpha=0.05$; Anexo estadístico 3.4).

NR: no reportado.

En cuanto a las características fisicoquímicas, la densidad, pH, acidez y azúcares residuales en las cervezas de maíz, resultaron ser muy similares a los encontrados en cervezas comerciales. Cabe señalar que a pesar de que se presentaron diferencias significativas en estos parámetros entre las muestras (Anova, $\alpha=0.05$; anexo estadístico 3.1, 3.2, 3.3) y en las distintas etapas de elaboración, los valores son cercanos a los que se encuentran reportados como típicos para cervezas. En México no existe una norma que regule estos parámetros.

La importancia del parámetro densidad recae en que es proporcional a la cantidad de sólidos disueltos en el mosto e influye directamente sobre el cuerpo de la cerveza. Estos sólidos son

ácidos orgánicos, proteínas y carbohidratos principalmente y afectaran directamente el cuerpo, retención de espuma y la cantidad de alcohol obtenido al final de la fermentación. Cervezas ligeras tienen normalmente densidad de 1.04 y cervezas de mayor cuerpo y contenido alcohólicos llegan hasta 1.07 (Hardwick, 1995).

El pH y la acidez afectan el sabor de la cerveza llegando a provocar cuando los valores son altos, una nota de acidez desagradable, esto se relaciona con la cantidad y concentración de los ácidos disueltos, así como la forma iónica en la que se encuentran. Entre los más importantes se encuentran el láctico, acético, pirúvico, málico, carbónico. Estos provienen tanto de la materia prima como de los subproductos de la fermentación alcohólica y acética. En general, niveles bajos de acidez son deseados, excepto en cerveza lámbicas, donde se tolera en mayor cantidad este descriptor (Hardwick, 1995). Otro factor de importancia radica en el papel de inhibición de microorganismos patógenos, a los cuales les desfavorecen pH por debajo de 4.5, siendo este el rango superior permitido en cervezas.

En el mosto, el pH es cercano a 5.5 ya que existen sistemas que actúan como reguladores del pH en la malta, como son fosfatos y carbonatos. Una vez que se inicia la fermentación viene un periodo de acidificación con la formación de intermediarios en la ruta metabólica, como el ácido pirúvico y su posterior transformación a etanol, lo cual libera H^+ al medio que lo acidifican llegando hasta valores entre 3.5 y 4 (Fix, 1999). Al finalizar la fermentación y durante la maduración se da la autólisis de las levaduras, lo que puede resultar en un ligero aumento del pH de la cerveza (4-4.5) Hardwick, 1995).

Los azúcares residuales en la cerveza afectan tanto el sabor como la calidad desde el punto de vista de inocuidad, debido a que contenidos altos de azúcar facilitan su contaminación, ya que son fuentes de carbono de fácil aprovechamiento, además en general, las cervezas tienden a ser amargas o con sabores de café, caramelo, herbales, cítricos, pero no dulces, como sí lo sería una cerveza con altos contenidos de azúcares residuales. Por último, la presencia de altas concentraciones de azúcares residuales sería un indicio de fermentación incompleta o ineficiente, lo que podría deberse a, poco inóculo agregado, composición del mosto inadecuada o malas condiciones de fermentación (tiempo-temperatura) (Hardwick, 1995).

Los contenidos de alcohol, en general, resultaron ser más bajos que en las cervezas comerciales. Presentándose mucha variación entre un tratamiento y otro, principalmente entre el 1 y el 4. En parte, este comportamiento se puede explicar, debido a que un alto porcentaje de los carbohidratos presentes en el mosto son utilizados para el crecimiento de la levadura por medio de respiración en presencia de oxígeno disuelto en el mosto. Otra

posible explicación pudiera estar referida al metabolismo de la levadura en el mosto de maíz, debido a que no se puede dejar de lado que la levadura empleada ha sido desarrollada para su crecimiento en mostos de cebada y siendo el maíz una materia prima diferente, pudiera verse estresada de alguna forma durante la fermentación, presentando menores rendimientos de alcohol. Este estrés pudiera referirse a la presencia de algún inhibidor en la composición del maíz, así como la carencia o ausencia de un micro nutriente, como son los minerales y las vitaminas con respecto a los mostos de cebada. Con respecto a esto, Taylor *et al* en el 2013 realizaron estudios sobre las cantidades de magnesio, zinc, y ácidos grasos como el palmítico, oleico y linoleico encontrando diferencias entre las maltas de maíz y de cebada, destacando que el contenido de magnesio y de zinc en las maltas de maíz es más elevado, y que no se encontraron valores cuantificables de los ácido grasos, contrario a la malta de cebada. Recordemos que los ácidos grasos son fundamentales al inicio de la reproducción de la levadura pues son utilizados para la formación de nuevas células. Una forma de revertir esta problemática pudiera ser experimentar diseñando medios para acostumar la levadura al medio de maíz malteado, con lo que pudieran presentar una mejor adaptación al medio y con ello mejorar su rendimiento de producción de etanol. Conviene recordar también lo dicho anteriormente sobre el poder diastásico de la malta de maíz, ya que el contenido de alcohol está directamente relacionado con él.

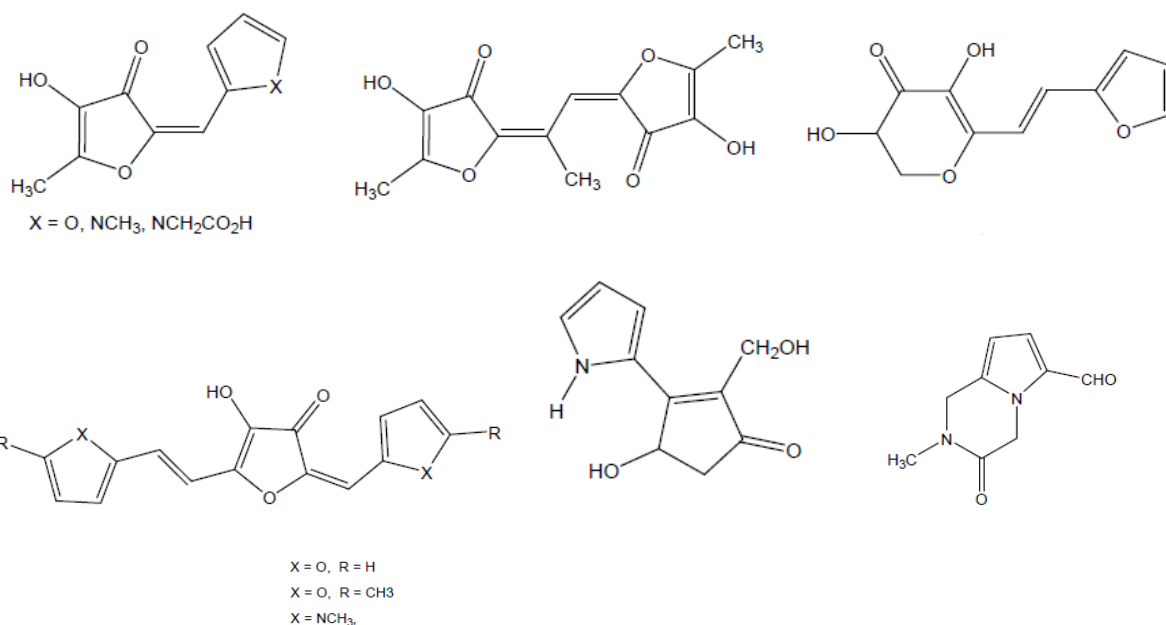
En cuanto al amargor, las cervezas de maíz presentaron niveles similares a los de las cervezas industriales. La unidad del nivel de amargor es el IBU y se refieren a la cantidad de iso-alfa-ácidos provenientes de la cocción del lúpulo (1mg/l). De cualquier forma, este parámetro está influido por el tipo de cerveza que se quiera ofrecer y desde luego, por la aceptación de los consumidores. Algunas cervezas, como las Pale Ale, características por un fuerte amargor proveniente de lúpulo, reportan valores de hasta 65 IBU's. Así vemos que el amargor es característico para cada uno de los estilos, por lo que rara vez se puede ver como un defecto sino más bien como una particularidad. Cabe aclarar que las cervezas de maíz elaboradas no pertenecen a ningún estilo definido, por lo que no están condicionadas a tener algún valor establecido de amargor. Finalmente se puede agregar que, en el producto final, el amargor no está dictado únicamente por la cantidad de iso-alfa-ácidos provenientes del lúpulo sino que puede haber un aporte importante de otros compuestos por parte de maltas tostadas, los cuales se generan también durante el tostado por reacciones de Maillard y pirolisis, algo parecido a lo que se presenta en el café (Van Boeckel, 2006).

En la cerveza elaborada con sólo malta base de maíz rojo encontramos valores para polifenoles cercanos a 381mg de ác. gálico/l. Estos valores son superiores a los que se concentraron en promedio para cervezas industriales, que resultaron ser de 217 y 297 mg de

ác. gálico/l. En cervezas artesanales se observó un comportamiento diferente. Tentativamente, debido a que las cervezas analizadas para este estudio emplean una alta cantidad de maltas tostadas, tiempos de cocción más largos (mayor producción de compuestos de Maillard así como concentración por evaporación de agua) y la proporción malta:agua suele ser más elevada que en las cervezas elaboradas con maíz, los promedios en cuanto al contenido de polifenoles fueron similares e incluso más elevados, en el caso de la cerveza Irish Red Ale, que los encontrados en cervezas de maíz (hasta 576 mg de ác. gálico/l). Cabe señalar que Romero, en el 2012, reportó valores de compuestos fenólicos entre 316 y 465 mg de ác. gálico/l para cervezas artesanales producidas en México, aunque ese mismo trabajo reportó valores hasta 650 mg de ác. gálico/l para cervezas elaboradas con maíz rojo. González *et al* (2001) mencionan valores entre 50-350 mg/l para cervezas de cebada. De nuevo, comparando con el vino tinto, los valores reportados van desde 627 hasta 1,656 mg de ác. gálico/l (Muñoz *et al*, 2007). Un fenómeno parecido al que se presentó en las maltas ocurrió en las cervezas elaboradas, ya que conforme aumentaba la intensidad del tostado de la malta utilizada, el producto final era más rico en polifenoles llegando hasta 497 mg de ac. gálico/l en la muestra con malta procedente del tratamiento 4.

Respecto a la capacidad antioxidante evaluada a través de la neutralización del radical DPPH, los valores encontrados en las cervezas comerciales analizadas van desde 57 en “Barrilito” hasta 80mg de ác. gálico/l en “Indio” en cervezas industriales; la cerveza artesanal Minerva Imperial Stout presento valores de 206mg de ác. gálico/l y la Irish Red Ale valores de 192mg de ác. gálico/l mostrándose, en ambos casos, superior que la capacidad antioxidante de la cerveza de malta de maíz rojo en todos los casos (cerveza con sólo malta base: 111mg de ác. gálico/l; cerveza con malta tratamiento 1: 112mg de ác. gálico/l; cerveza con malta tratamiento 2: 125mg de ác. gálico/l; cerveza con malta tratamiento 3: 132mg de ác. gálico/l; cerveza con malta tratamiento 4: 150mg de ác. gálico/l). Esto se puede explicar, en parte, de forma parecida a lo ocurrido con los polifenoles totales, ya que las condiciones de cantidad e intensidad de las maltas tostadas, los tiempos de cocción del mosto y las proporciones agua:malta, afectan estos resultados. En cuanto a las maltas tostadas, las cuales son ricas en melanoidinas y otros compuestos productos de la reacción de Maillard, diversos autores (Naranjo *et al* 2011; Pérez, 2013; Van Boekel, 2006; Langner y Rzeski, 2013) han reportado que, durante los procesos de tostado, como los que se dan en el café y la malta de cerveza, así como durante la cocción del mosto, se producen compuestos como las melanoidinas y estas, aparentemente, tienen capacidad antioxidante que, si bien por si sola parece ser una baja capacidad antioxidante, en el medio en que se encuentran naturalmente (alimentos asados, horneados, etc.) juegan un papel importante, debido a que la capacidad antioxidante no solo está afectada por la suma de las capacidades antioxidantes de cada

compuesto presente, sino por la interacción entre estos compuestos, así como las condiciones del medio en que se encuentran. Igualmente, además de las melanoidinas, muchos compuestos son formados durante el tostado, y algunos de estos compuestos pueden presentar capacidad antioxidante, como ya se mencionó. Este hecho toma importancia si se observa que, en la cerveza Indio, que es más oscura que la cerveza Barrilito (hablando de los productos industriales), se observa un una mayor capacidad antioxidante, e igualmente en las cervezas elaboradas con maltas de maíz, donde se observa que cuando se emplean maltas con tratamientos de tostado (bajo conocidas), mientras más intenso sea el tratamiento, mayor es la capacidad antioxidante del producto resultante, dígase malta o cerveza madura. Cabe aclarar que en el caso de las cervezas de maíz, es agregada la misma proporción de malta tostada sin importar la intensidad del tratamiento térmico. Sin embargo, a pesar de que el aumento, tanto en capacidad antioxidante como en polifenoles totales, se observa gradual en la tabla, únicamente la cerveza con malta base mostró ser significativamente inferior a los tratamientos 2, 3 y 4. Así mismo, el tratamiento 2 mostró diferencias con el tratamiento 4, pero no con el resto de los tratamientos.



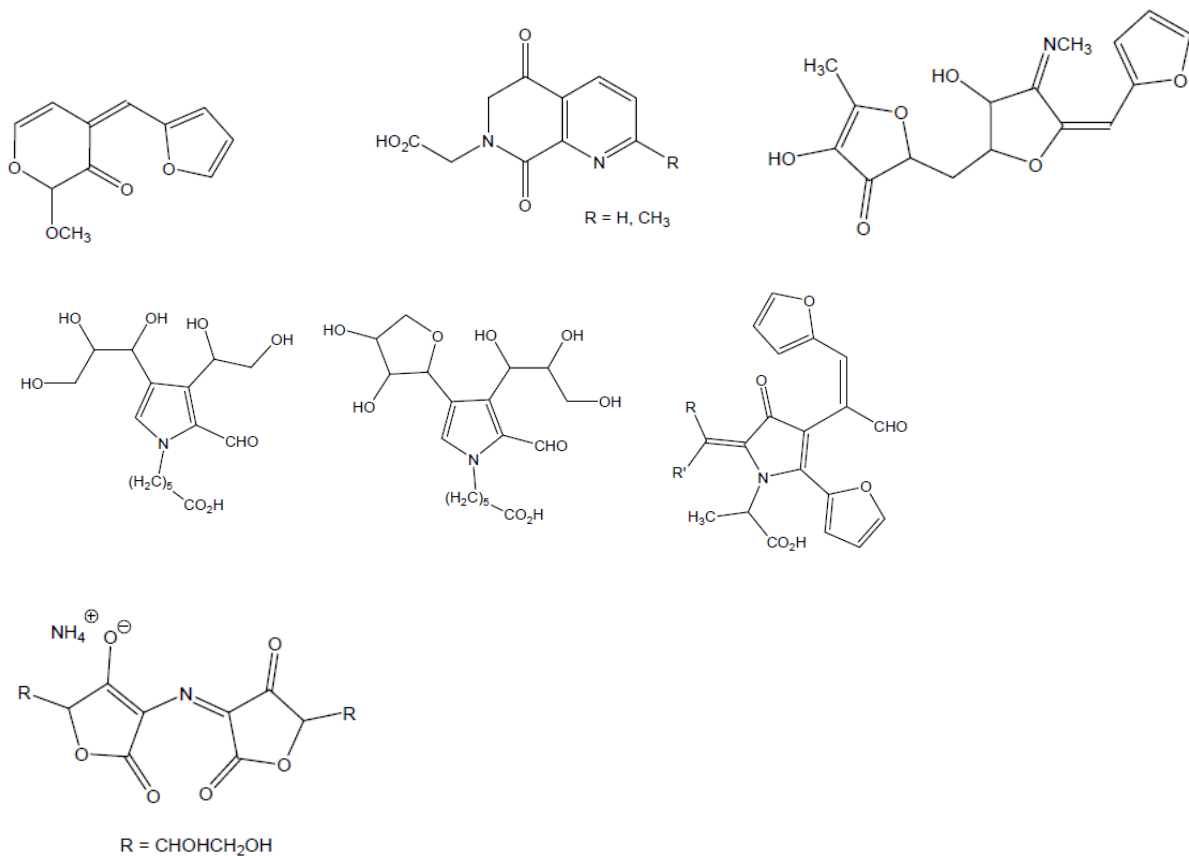


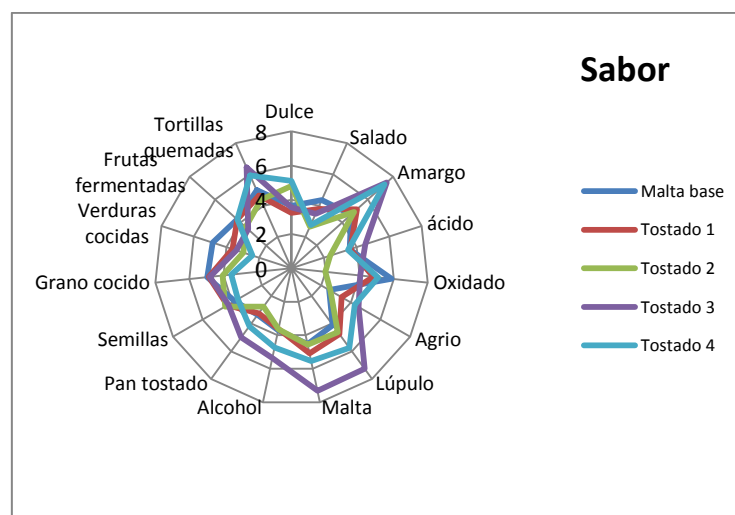
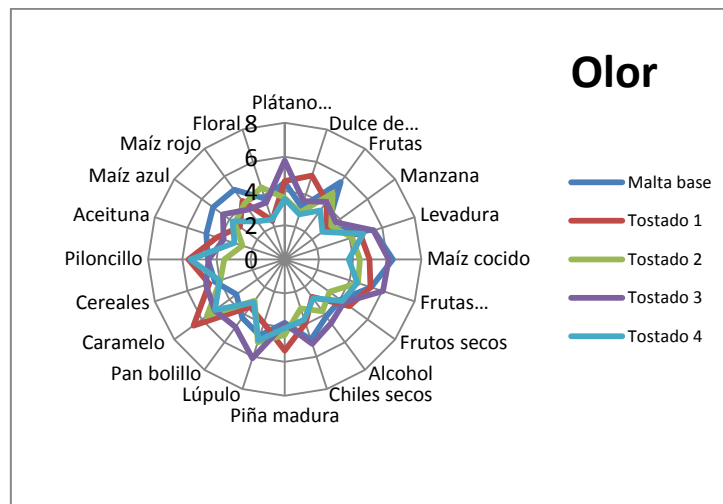
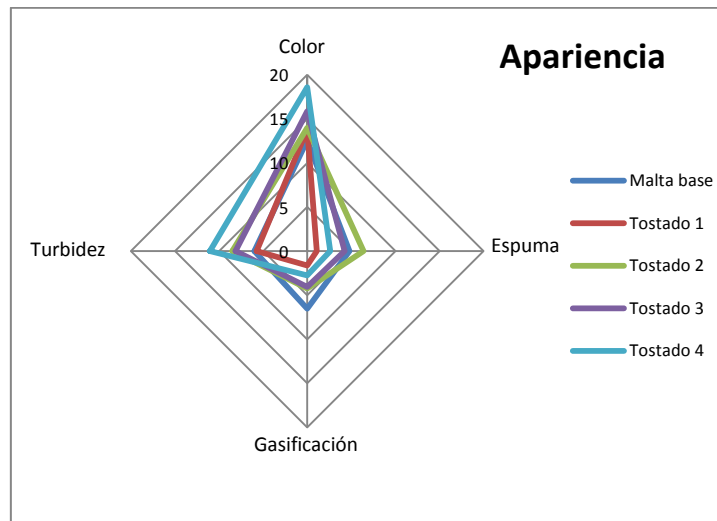
Figura 19.- Estructuras de algunos compuestos coloridos de baja masa molar formados en sistemas modelo de reacciones de Maillard.

Evaluación sensorial

Análisis Descriptivo Cuantitativo

El QDA o análisis descriptivo cuantitativo se realiza con la finalidad de obtener los descriptores que caracterizan a las cervezas de maíz, así como la intensidad de cada descriptor por muestra. Se realiza con jueces entrenados.

A continuación se presentan los resultados para las cervezas analizadas, tanto en gráficas como en tablas, con la finalidad de facilitar la comparación de los resultados así como conocer los valores exactos. Las gráficas están separadas según el sentido empleado para evaluar los atributos descritos en ella. Mientras mayor es el valor asignado por los jueces más característico es el atributo para esa muestra. Recordando las con condiciones de tostado 1, 2, 3 y 4: 170°C/10min; 170°C/60min; 230°C/10min; 230°C/60min.



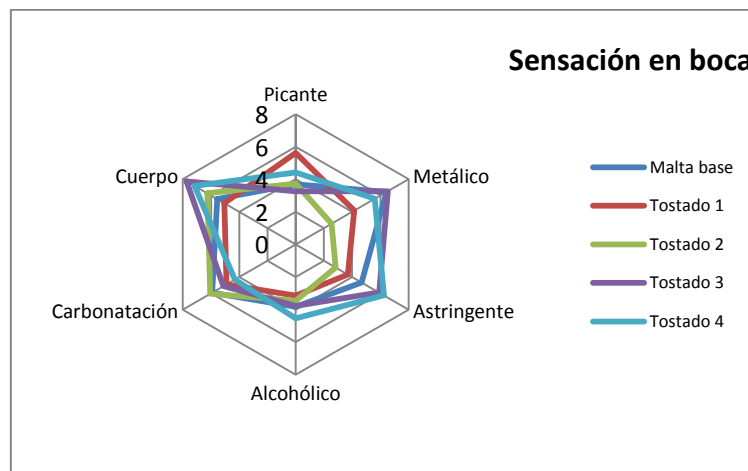


Figura 20.- Gráficos de araña del análisis QDA para los 5 tratamientos de cerveza de maíz.

Tabla 15.- Promedios de la calificación de los jueces, QDA, apariencia.

| Tratamiento | Color* | Espuma* | Gasificación | Turbidez* |
|-------------|---------------|-----------------|--------------|-----------|
| Malta base | 12.58 a | 4.76 a, c, d, e | 6.52 a, c | 6.02 a |
| Tostado 1 | 13.81 a, b, c | 1.08 b, e | 1.63 b, c | 5.74 a |
| Tostado 2 | 14.00 a, b, c | 6.37 a, c | 4.23 a, b, c | 8.52 b |
| Tostado 3 | 15.47 b, c | 4.34 a, d, e | 4.23 a, b, c | 7.89 b |
| Tostado 4 | 18.61 d | 2.58 a, b, d, e | 2.75 b, c | 11.03 c |

*Significancia estadística del descriptor (Anexo 1, estadístico 5).

Letras agrupan de acuerdo a la significancia estadística (Anova, $\alpha=0.05$).

En cuanto al color, las calificaciones de los jueces son semejantes a los valores obtenidos a través de la medición instrumental para todos los casos excepto en la cerveza de malta base, la cual calificaron por arriba del valor medido espectrofotométricamente. Cabe señalar que en la imagen de referencia sobre el color las cervezas, valores menores a 10 corresponden a cervezas claras, amarillas, o doradas, y arriba de los 12 comienzas a adquirir tonos cobrizos. Debido a que la cerveza de maíz contiene antocianinas que la hacen tener un tono cobrizo, aun sin contar con maltas tostadas, los jueces la calificaron por arriba del valor que debería ser adecuado.

Un problema frecuente en las cervezas elaboradas con maltas de maíz es su baja retención de espuma, ya que aunque al abrir las botellas era evidente que contaban con buena carbonatación, pero el gas era perdido de forma muy rápida al servirse, con lo que davala impresión de tener baja carbonatación desde el inicio. Este es un parámetro que afecta tanto el sabor como las sensaciones en boca de las cervezas, ya que al igual que otras bebidas carbonatadas como los refrescos, una vez perdido el gas los consumidores tienden a

rechazarlas o mostrar menos agrado. Esta característica está influida por varios factores, principalmente las materias primas, ya que componentes como proteínas, compuestos provenientes del lúpulo, así como de las maltas tostadas son los principales estabilizadores de la espuma formada (Varnam y Sutherland, 1997; Baxter, 2004, Bamforth, 2006). Posiblemente el tamaño o tipo de las polipéptidos residuales del maíz no cuenten con la estructura adecuada para favorecer la retención de espuma.

Tabla 16.- Promedios de la calificación de los jueces, QDA, olor.

| Descriptor | Malta base | Tratamiento 1 | Tratamiento 2 | Tratamiento 3 | Tratamiento 4 |
|--------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Plátano macho | 4.51 | 4.57 | 3.58 | 5.83 | 3.54 |
| Dulce de dulce | 3.22 | 5.16 | 2.89 | 3.54 | 2.78 |
| Frutas | 5.58 | 4.18 | 4.79 | 4.14 | 3.53 |
| Manzana | 3.05 | 3.03 | 3.35 | 3.53 | 2.74 |
| Levadura | 5.47 | 4.67 | 4.15 | 5.60 | 4.82 |
| Maíz cocido | 6.33 | 4.97 | 4.41 | 6.30 | 3.74 |
| Frutas fermentadas | 5.33 | 5.28 | 4.50 | 6.09 | 4.47 |
| Frutos secos | 4.02 | 4.68 | 3.25 | 4.46 | 4.17 |
| Alcohol | 4.14 | 2.73 | 3.76 | 4.62 | 2.82 |
| Chiles secos | 4.96 | 3.95 | 3.02 | 5.07 | 3.72 |
| Piña madura | 3.73 | 5.34 | 4.43 | 4.00 | 4.03 |
| Lúpulo | 4.71 | 3.94 | 5.12 | 6.20 | 5.00 |
| Pan de dulce | 4.24 | 3.44 | 2.99 | 5.08 | 3.10 |
| Caramelo | 3.51 | 6.61 | 5.63 | 5.27 | 5.04 |
| Cereales | 4.30 | 4.64 | 3.95 | 4.98 | 4.01 |
| Piloncillo | 4.50 | 5.64 | 3.54 | 4.43 | 5.53 |
| Aceituna | 4.83 | 4.18 | 2.60 | 3.98 | 3.10 |
| Maíz azul | 5.19 | 3.24 | 3.62 | 4.38 | 3.79 |
| Maíz rojo | 5.04 | 4.22 | 4.02 | 3.6 | 2.74 |
| Floral | 3.74 | 2.37 | 4.42 | 3.63 | 2.45 |

*Significancia estadística del descriptor (Anexo 1, estadístico 5).

Tabla 17.- Promedios de la calificación de los jueces, QDA, sabor.

| Descriptor | Malta base | Tratamiento 1 | Tratamiento 2 | Tratamiento 3 | Tratamiento 4 |
|--------------------|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Dulce | 3.66 | 3.23 | 4.81 | 3.78 | 5.11 |
| Salado | 4.35 | 3.79 | 2.65 | 3.71 | 2.77 |
| Amargo | 4.70 | 5.14 | 4.93 | 7.38 | 7.32 |
| Ácido | 3.57 | 3.60 | 2.37 | 4.53 | 3.47 |
| Oxidado* | 5.87 a | 4.80 a | 1.98 b | 4.04 a | 5.09 a |
| Agrio | 2.54 | 3.37 | 2.63 | 4.35 | 4.27 |
| Lúpulo | 4.10 | 4.75 | 4.62 | 7.13 | 5.75 |
| Malta | 4.54 | 5.07 | 4.56 | 7.11 | 5.54 |
| Alcohol | 3.71 | 3.63 | 3.65 | 5.14 | 4.74 |
| Pan tostado | 3.36 | 3.27 | 2.78 | 5.08 | 4.19 |
| Semillas | 3.83 | 4.33 | 4.49 | 3.91 | 3.62 |
| Grano cocido | 4.96 | 4.86 | 4.05 | 4.63 | 3.55 |
| Verduras cocidas | 4.85 | 3.62 | 2.96 | 3.13 | 2.41 |
| Frutas fermentadas | 4.27 | 4.27 | 3.62 | 3.58 | 4.27 |
| Tortillas quemadas | 4.99 | 4.64 | 4.37 | 6.27 | 5.94 |

*Significancia estadística del descriptor (Anexo 1, estadístico 5).

Letras agrupan de acuerdo a la significancia estadística (Anova, $\alpha=0.05$).

Tabla 18.- Promedios de la calificación de los jueces, QDA, sensación en boca.

| Tratamiento | Picante | Metálico* | Astringente* | Alcohólico | Carbonatación | Cuerpo* |
|-------------|---------|-----------|--------------|------------|---------------|-----------|
| Malta base | 3.69 | 6.45 a | 4.67 a, b | 3.83 | 5.93 | 5.56 a |
| Tostado 1 | 5.62 | 4.15 a, b | 3.70 a | 3.15 | 4.90 | 5.05 a, b |
| Tostado 2 | 3.73 | 2.55 b | 2.83 a, b | 3.47 | 6.06 | 6.27 a, b |
| Tostado 3 | 3.31 | 6.31 a, b | 5.67 a, b | 3.54 | 4.98 | 7.84 b |
| Tostado 4 | 4.43 | 5.60 a, b | 6.26 b | 4.53 | 4.31 | 7.17 b |

*Significancia estadística del descriptor (Anexo 1, estadístico 5).

Letras agrupan de acuerdo a la significancia estadística (Anova, $\alpha=0.05$).

Los descriptores, tanto de olor como de sabor, resultaron ser estadísticamente iguales en todas las cervezas (exceptuando el descriptor oxidado, que resultó ser significativamente diferente para la muestra con tratamiento de tostado 2, Anova, $\alpha=0.05$, anexo 1, estadístico 5). Esto posiblemente a que la muestra con tratamiento 2 fue la última en elaborarse, por lo que el tiempo de diferencia entre la elaboración entre muestras pudo

afectar al descriptor. El picor, alcohol (sensación en boca) y carbonatación tampoco mostraron diferencias significativas entre muestras (Anova, alfa=0.05, anexo 1, estadístico 5).

A continuación se presentan las fichas de cata, las cuales fueron elaboradas con base a los promedios obtenidos de las calificaciones de los jueces, mostrados en la figura 20.

Tabla 19.- Ficha de estilo de la cerveza de malta base.

| | |
|---------------------------------------|---|
| Apariencia | Gasificación media, espuma ligera, turbidez intermedia |
| Color (Método Estándar de Referencia) | 12-13 |
| Olor | A frutas, levadura, maíz cocido, maíz rojo y azul y frutas fermentadas. |
| Sabor | Salado, oxidado, verduras cocidas, grano cocido. |
| Sensación en boca | Sensación metálica, carbonatación media, ligera de alcohol, bajo picor y cuerpo ligero. |

Tabla 20.- Ficha de estilo de la cerveza con tostado 1.

| | |
|---------------------------------------|--|
| Apariencia | Gasificación baja, espuma muy ligera, turbidez intermedia |
| Color (Método Estándar de Referencia) | 13-14 |
| Olor | A pan de plátano, frutas fermentadas, frutos secos, piña madura, caramelo, cereales, piloncillo. |
| Sabor | Amargo, oxidado, lúpulo, malta, grano cocido, semillas. |
| Sensación en boca | Sensación picante, ligera de alcohol, carbonatación media y cuerpo ligero. |

Tabla 21.- Ficha de estilo de la cerveza con tostado 2

| | |
|---------------------------------------|---|
| Apariencia | Baja gasificación, espuma media, turbidez intermedia. |
| Color (Método Estándar de Referencia) | 14 |
| Olor | A frutas, maíz cocido, lúpulo, caramelo, frutas fermentadas, floral. |
| Sabor | Dulce, Amargo, lúpulo, malta, semillas. |
| Sensación en boca | Sensación de carbonatación media, ligera de alcohol, bajo picor y cuerpo medio. |

Tabla 22.- Ficha de estilo de la cerveza con tostado 3.

| | |
|---------------------------------------|---|
| Apariencia | Baja gasificación, espuma ligera, turbidez intermedia |
| Color (Método Estándar de Referencia) | 15-16 |
| Olor | A plátano macho, levadura, maíz cocido, frutas fermentadas, alcohol, chiles secos, lúpulo, pan dulce, caramelo, cereales. |
| Sabor | Amargo, lúpulo, alcohol, pan tostado, semillas, malta, grano cocido, tortillas quemadas. |
| Sensación en boca | Sensación metálica, astringente, ligera de alcohol y carbonatación, bajo picor y cuerpo medio. |

Tabla 23.- Ficha de estilo de la cerveza con tostado 4.

| | |
|---------------------------------------|---|
| Apariencia | Gasificación muy baja, espuma muy ligera, turbidez alta. |
| Color (Método Estándar de Referencia) | 18-19 |
| Olor | A levadura, frutas fermentadas, lúpulo, caramelo, piloncillo. |
| Sabor | Dulce, amargo, oxidado, malta, lúpulo, piloncillo, frutas fermentadas, tortillas quemadas. |
| Sensación en boca | Sensación metálica, astringente, ligera de alcohol y carbonatación, bajo picor y cuerpo ligero. |

En general, todas las cervezas presentaron baja carbonatación y poca retención de espuma. Los descriptores levadura, frutas fermentadas, lúpulo y maíz cocido fueron los más repetidos en todos los tratamientos para el olor. En los tratamientos con tostado también aparecieron los descriptores caramelo y piloncillo.

En cuanto al sabor, los descriptores malta, lúpulo, semillas, oxidado y amargor fueron los más repetidos, apareciendo para los tostados 3 y 4 tortillas quemadas, haciendo referencia a los sabores debidos al tostado más intenso. Los descriptores dulce y pan tostado cobraron importancia en cervezas con malta tostada, y se logró eliminar el descriptor verduras cocidas, presente en la cerveza de malta base, que resultaba desagradable a los consumidores.

Como complemento del análisis cuantitativo descriptivo se realizó el análisis de componentes principales (PCA), donde se agrupan tanto los descriptores como las muestras en cuadrantes que ayudan a conocer las características más representativas de cada muestra, así como la

similitud o diferencia entre las muestras. Cada cuadrante está relacionado con los demás, ya sea directa o inversamente.

Así, cuando un descriptor o muestra se encuentra en un cuadrante determinado, será parecido a los que se encuentren en el mismo cuadrante, pero será contrario a los que se encuentren en el cuadrante opuesto.

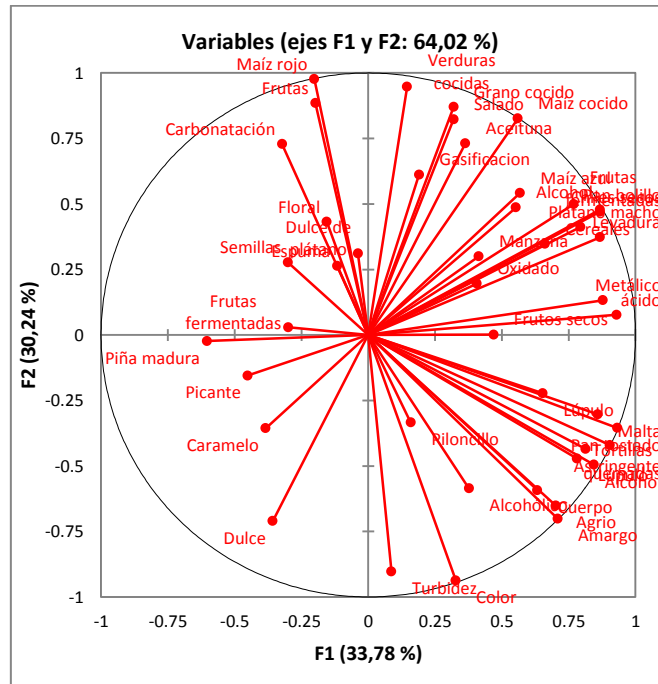


Figura 21.- Distribución de los descriptores de acuerdo al PCA.

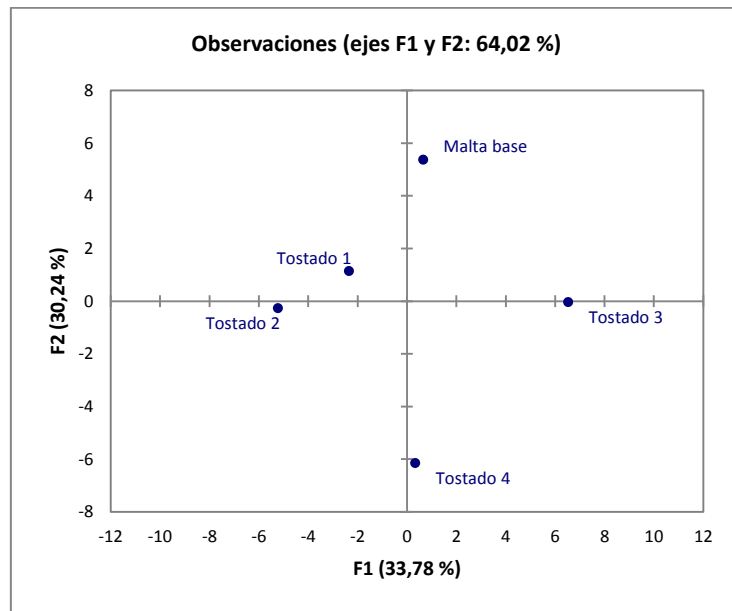


Figura 22.- Distribución de las muestras de acuerdo al PCA.

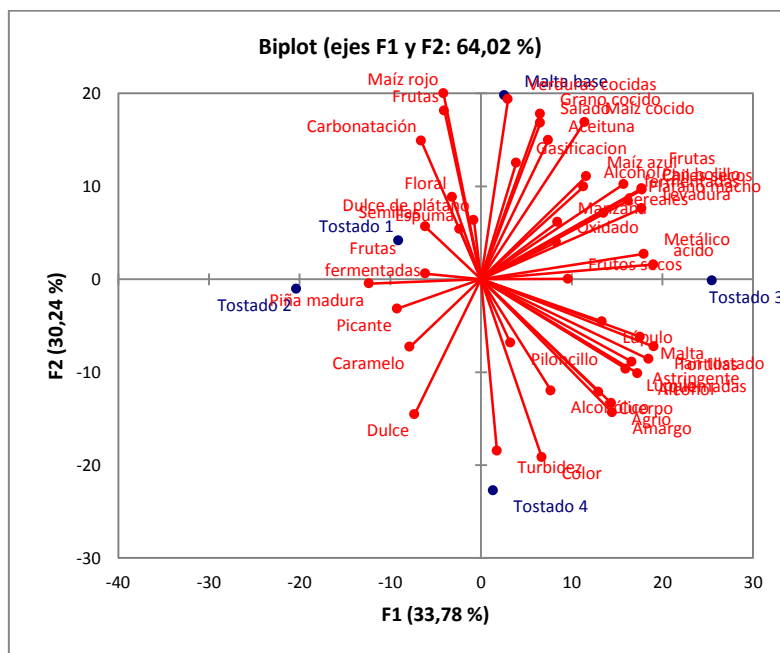


Figura 23.- Distribución de las muestras y descriptores según el PCA.

El análisis muestra que gran cantidad de descriptores están relacionados entre sí. Esto se puede ver en las figuras 21 y 22, por la cercanía o traslape entre ellos.

Por ejemplo, la turbidez y el color están muy relacionados entre sí, ya que se encuentran muy cercanos, sin embargo son contrarios a los descriptores carbonatación o floral, que se encuentran en el cuadrante opuesto, cerca de los 180°.

Entre las muestras, las cervezas con tostado 1 y 2 fueron agrupadas del mismo lado con respecto al eje horizontal, en posiciones cercanas, por lo que se puede decir que comparten suficientes características para poder ser consideradas similares. Las muestras de malta base, tostado 3 y tostado 4 fueron distribuidas en el lado opuesto (derecho) lo que las hace diferentes a las cervezas con tratamiento 1 y 2. El componente F1 hace diferenciación entre grupos, es decir, que las cervezas de malta base, tostado 3 y tostado 4 fueron agrupadas dentro del mismo grupo, ocurriendo de forma similar para las muestras de tostado 1 y 2. El componente F2 separa las muestras dentro de los grupos. Es decir, que a pesar de que comparen ciertos descriptores, los más característicos para cada una son distintos. Entre ambos componentes explican el 64% del comportamiento de los datos.

Debido a que el PCA se enfoca en detectar las variables que contribuyen a la diferenciación entre las muestras, de acuerdo a este análisis se puede estimar que los descriptores que distinguen cada cerveza de las otras son:

Malta base.- Verduras cocidas, grano cocido, maíz cocido.

Tratamiento de tostado 1.- Espuma, semillas y frutas fermentadas.

Tratamiento de tostado 2.- Frutas fermentadas, piña madura.

Tratamiento de tostado 3.- Frutos secos, metálico, malta.

Tratamiento de tostado 4.- Turbidez, color, amargo.

Gracias a este análisis es posible observar, de forma sencilla, que la para la cerveza elaborada con malta base los descriptores como verdura y maíz cocido son muy característicos, lo cual no era tan bien recibido por los consumidores. Cuando se aplicaron los tratamientos de tostado estos descriptores se disminuyeron y aumentaron los característicos de cervezas como frutas fermentadas, caramelo, amargor, malta, etc.

Algo que llama la atención sobre este resultado es que, a pesar de que las dos cervezas que más agradaron fueron las elaboradas con malta tostada con el tratamiento 2 y con el tratamiento 3, el análisis de componentes principales las agrupó como las muestras más distintas entre sí, es decir en cuadrantes contrapuestos. Esto indica que las cervezas no

agradaron por alguna característica que éstas compartieran y que estuviera ausente o sobrada en el resto de las muestras, sino por la conjunción de sus características particulares.

Pruebas con consumidores

La primera prueba realizada a consumidores sobre la preferencia de las cervezas se dirigió a saber que tan bien eran recibidos los tratamientos de tostado, comparándolos con la cerveza de malta base. Cabe señalar en este punto que las cervezas con maltas tostadas son de mayor interés debido a que dieron los resultados de contenido de polifenoles y capacidad antioxidante más altos, pero era necesario conocer si los jueces aceptaban los sabores tostados en cervezas de maíz, o si por el contrario resultaban desagradables.

Se aplicó una metodología de escala hedónica, únicamente preguntando a los consumidores el nivel de agrado de cada una de las cervezas. Se evaluaron 3 muestras, cerveza con sólo malta base, cerveza con tostado 1 y cerveza con tostado 3. Se presentan los gráficos de los resultados.

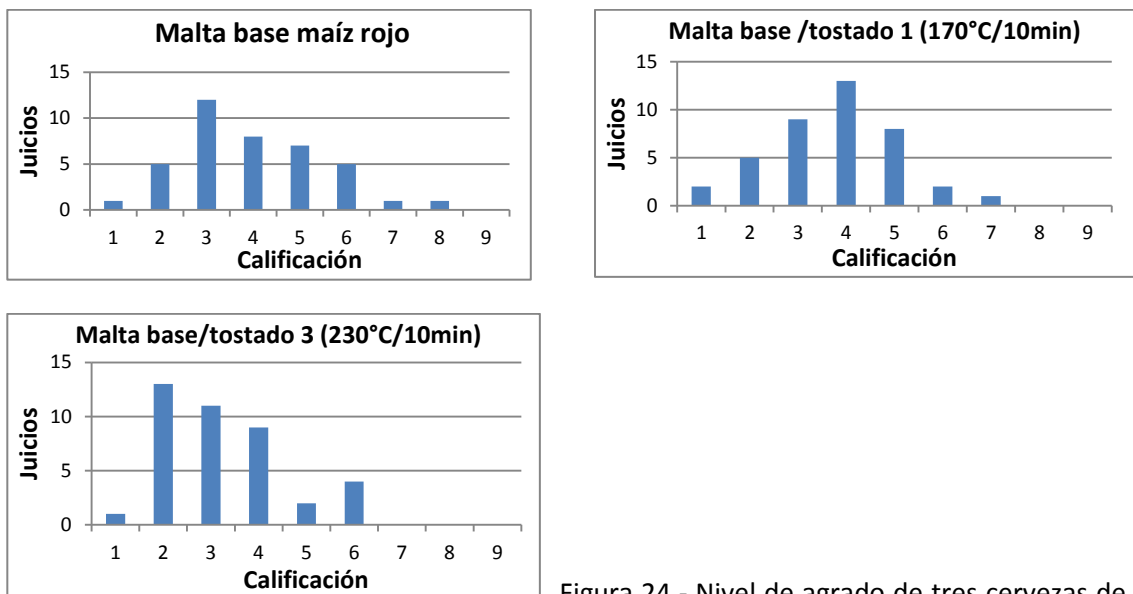


Figura 24.- Nivel de agrado de tres cervezas de maíz.

1 corresponde a me agrada muchísimo, 9 corresponde a me desagradó muchísimo.

Se observó que la cerveza de malta base resultó ser la de menor agrado (considerando que en el cuestionario empleado el 1 es el mayor agrado y el 9 el mayor desagradó) teniendo un promedio de agrado de 3.97, en segundo lugar se encontró el tratamiento 1 con promedio de 3.75 y en primer lugar el tratamiento 3 con 3.25. La muestra con tratamiento de tostado 2 resultó ser estadísticamente diferente del resto de las muestras, siendo la de mayor agrado. Las muestras de malta base y tostado 1 fueron iguales entre sí (Friedman, $\alpha=5\%$; anexo estadístico 6.1). Esto nos lleva a dos conclusiones parciales, la primera es que se muestra una tendencia de mayor agrado cuando la cerveza contiene malta tostada. Por el otro lado, las cervezas con maltas tostadas, como ya se mencionó, contienen mayor cantidad de polifenoles y capacidad antioxidante, por lo que representan una opción más atractiva que la cerveza de malta base. En este contexto, al no resultar menos agradables, sino lo contrario, las siguientes etapas de evaluación se centran en los tratamientos con maltas tostadas.

En seguida se muestran los resultados de la evaluación sensorial de los cuatro tratamientos de tostado. Esta evaluación sirvió para elegir los dos mejor aceptados por consumidores y con ellos reformular aumentando la cantidad de chile empleado.

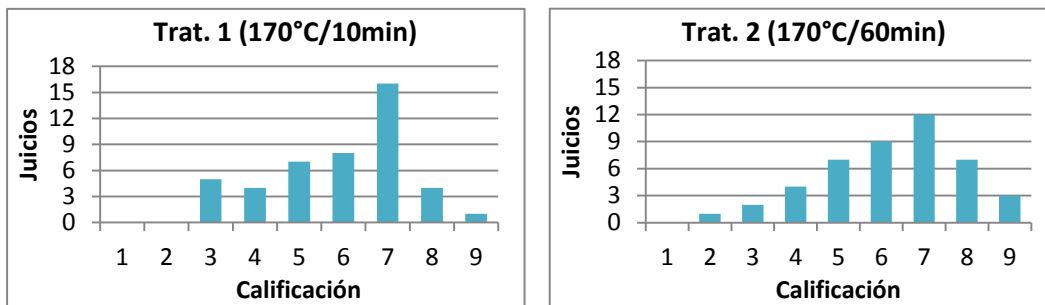
En la prueba de ordenamiento lo que se busca es que los jueces indiquen cuál o cuáles son las muestras que más les agradan, comparando una con otra, sin tomar en cuenta si éste agrado es mucho o poco, ni la distancia que hay entre un lugar y el otro.

Tabla 24.- Resultados de ordenamiento según nivel de agrado (posición 1, mayor agrado)

| Muestra/Posición | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------|----|----|----|----|
| 580 (170°C/10min) | 8 | 14 | 7 | 16 |
| 343 (230°C/10min) | 12 | 11 | 18 | 4 |
| 499 (170°C/60min) | 19 | 7 | 8 | 11 |
| 216 (230°C/60min) | 6 | 13 | 12 | 14 |

Se observa que las dos cervezas que más veces fueron colocadas en primer lugar de agrado fueron la del tratamiento 2 (170°C/60min) y la de tratamiento 3 (230°C/10min). Visto de otra manera, fueron las dos que menos veces se colocaron en último lugar. Este resultado se tomó como base para la reformulación con más chile. El análisis estadístico mostró que los tratamientos se pueden agrupar en dos conjuntos, 499-343 en uno y 580-216 en el otro, siendo los dos primeros los que más agradaron. La diferencia entre los grupos es de 20 unidades mientras que dentro de los grupos es de sólo 3 unidades. Sin embargo, las diferencias entre grupos no son suficientemente grandes para ser significativas estadísticamente usando un alfa de 5% (prueba de sumatoria ordinal absoluta de todos los tratamientos; Pedrero, 1989, tabla G1).

Durante la prueba sensorial también se pidió a los consumidores que calificaran el nivel de agrado general, así como intensidad de ciertos atributos que se pensaba afectaban directamente el nivel de agrado de las muestras. A continuación se presentan las gráficas que representan los resultados de la prueba (a la izquierda resultados de la escala hedónica, 1 me desagrada muchísimo - 9 me agrada muchísimo; a la derecha JAR, 1 mucho menos de lo que esperaba – 5 mucho más de lo que esperaba).



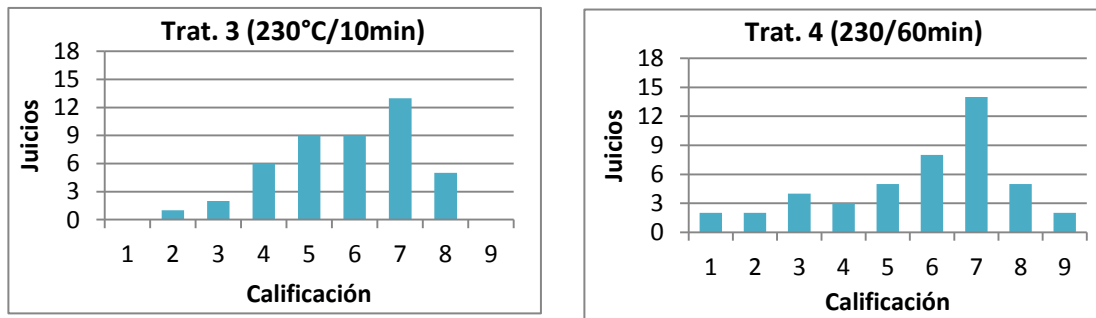


Figura 25.- Nivel de agrado de las cervezas con maltas tostadas.

La prueba con escala hedónica, a pesar de lo presentado en la prueba de ordenación, dio como resultado un nivel de agrado general, para todas las cervezas, cercano a 6, lo cual las colocaría en el nivel de “me gusta poco”. Se corrió una prueba de Friedman con $\alpha=5$ (anexo estadístico 6.2.1, 6.2.2.) para conocer si las diferencias entre las medias de agrado eran significativas, resultando ser así entre la muestra de tratamiento 2 y las muestras con tratamiento 4 y tratamiento 1. El resto de las muestras no presentaron diferencia significativa. Así, en orden de agrado, se pueden ordenar como tratamiento 2, 3, 1 y al final 4.

Es importante rescatar que este tipo de pruebas, al analizar el nivel de agrado promedio, no rescatan la trascendencia de la calificación que cada juez ha dado. Es decir, si hubiera resultado que las cervezas tenían una calificación promedio de 5 se podría decir que le son indiferentes a los consumidores, que no les gustan ni les disgustan, lo que podría verse como productos con pocas oportunidades en el mercado. Pero hay dos opciones simples en que se podría presentar este resultado. La primera es que todos los jueces hubieran evaluado las cervezas con una calificación de 5, lo cual implicaría que efectivamente tienen baja oportunidad de ser elegidos entre otros productos. La segunda opción es que la mitad de los evaluadores le hayan dado una calificación alta, y la otra mitad le haya dado una calificación baja, con lo que el promedio también sería cercano a 5. La importancia de esta opción radica en que, si bien no a todo el conjunto de evaluadores les gustó la muestra, posiblemente algunos la detestaron, a la mitad le gustó mucho, y en estas condiciones, sí que representaría una oportunidad atractiva en el mercado. En el presente trabajo, el segundo caso es el que más se acerca a los resultados obtenidos.

Las siguientes gráficas, obtenidas del análisis de los datos de la escala JAR, muestran la intensidad con que se percibieron los atributos en cada una de las muestras. Al pie de cada barra se puede observar la muestra a la que pertenece; “t” se refiere al tostado, “p” a la pungencia y “a” al amargor. La razón por la que se eligieron estos tres atributos para ser evaluados es que, por un lado, son fácilmente perceptibles y ampliamente conocidos, por lo

que los jueces podían calificar sin dificultades. La otra razón es que son características que se pueden modificar con relativa facilidad y a voluntad, lo que no ocurre tan fácilmente con otros descriptores encontrados en las cervezas.

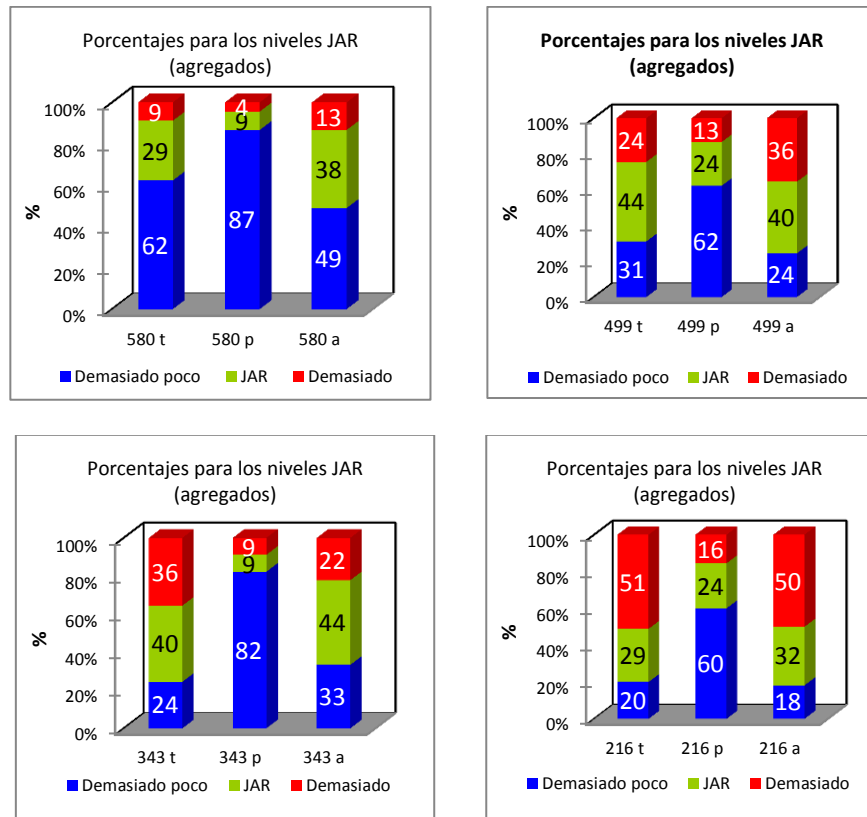


Figura 26.- Análisis de penalidades para las cervezas con maltas tostadas; arriba, tratamiento 1(170°C/10min) y 2 (170°C/60min), abajo tratamiento 3 (230°C/10min) y 4 (230°C/60min). t, p y a corresponden a los descriptores tostado, pungencia, amargor.

Los resultados del análisis de penalidades muestran que los consumidores penalizaron negativamente y de forma significativa cuando consideraron que la muestra era demasiado amarga, tratándose de la muestra con tratamiento 1, 170°C/10min (580) (Anexo estadístico 7.1). Algo similar ocurrió en la muestra con tratamiento 3, 230°C/10min (343) con el atributo pungencia, que igualmente se penalizó de forma negativa (Anexo estadístico 7.3). En cuanto al resto de los atributos en las diferentes muestras, no mostraron influencia significativa en el nivel de agrado general de forma individual (Anexo estadístico 7.1, 7.2, 7.3, 7.4), por lo que se cree que es la interacción entre los descriptores lo que influye mayormente la forma en que éstos son percibidos. Este resultado se puede traducir en que, gracias a la interacción

entre los diferentes atributos, la intensidad percibida como idónea de cada uno puede verse modificada. Como ejemplo, en la muestra con tratamiento 1 (580) los jueces penalizaron de forma negativa cuando el amargor era demasiado, a pesar de que pocos jueces lo consideraron así, sin embargo, para la muestra con tratamiento 4 (216), donde el 50% de los jueces consideraron que el amargor era más de lo que esperaban, no se penalizó este atributo. Recordando que lo que se varió en estos tratamientos fue la intensidad del tostado, y no el amargor o la pungencia, se puede concluir que los jueces toleraron mejor el amargor cuando iba acompañado de un tratamiento de tostado intenso, que cuando el tratamiento era ligero. Lo anterior se puede deber a que, las maltas tostadas recuerdan mucho el sabor del café, aportando incluso su amargor característico, lo cual se traduce en que la sensación es algo familiar y no les resulta desagradable, o al menos no desconocido.

A pesar de que el agrado general no se vio influido por algún atributo en particular sí es posible asociar la intensidad de estos con el nivel de agrado. Observando lo que ocurre con el tratamiento 2 (499), el que más agradó, es posible notar que las frecuencias en los tres atributos se acumulan mayormente en la zona de “justo como lo esperaba”. Similar ocurre con el tratamiento 3 (343). En los otros tratamientos se observa que la tendencia en todos los atributos se desvía hacia “demasiado poco” para la muestra con tratamiento 1 (580) y hacia “demasiado” para la muestra con tratamiento 4 (216).

La parte final del proyecto consistió en evaluar si al agregar más chile a las formulaciones de cervezas éstas lograban incrementar su nivel de agrado. Para ello se procedió a reformular dos tratamientos, agregando ahora el doble del chile que en la primera formulación. Al aplicar una escala ranking lo que se buscaba era que, mediante la forma más sencilla se pudieran comparar las cuatro muestras al mismo tiempo. Al tener dos formulaciones 1% y dos con 2% de chile se esperaba que los jueces acomodaran en primer lugar las dos con más chile, sin importar el orden entre estas, y las dos con menos chile en los dos últimos lugares.

En el siguiente cuadro se muestran los resultados de las encuestas.

Tabla 25.- Prueba ranking para cervezas reformuladas.

| Muestra/Posición | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| 325 (170°C/60min) - | 7 | 4 | 9 | 10 |
| 748 (230°C/10min) - | 14 | 4 | 10 | 2 |
| 571 (170°C/60min) + | 7 | 18 | 0 | 5 |
| 239 (230°C/10min) + | 2 | 4 | 11 | 13 |

-: chile al 10%

+: chile al 20%

El análisis estadístico para la prueba de ranking dio como resultado que los jueces no fueron capaces de discernir correctamente entre las muestras que contenían más chile y las que contenían menos, ya que aunque colocaron en segundo lugar una de las muestras con más chile (170°C/60min+, 571) la otra muestra perteneciente a este grupo fue colocada en último lugar (230°C/10min+, 239, como la muestra con menos chile). Las diferencias entre los dos grupos formados por los jueces (muestras con más y muestras con menos chile) resultaron significativas estadísticamente con un alfa de 5% (prueba de sumatoria ordinal absoluta de todos los tratamientos, Pedrero, 1989, tabla G3). Dentro de los grupos no hubo diferencias significativas. Aunque no se logró confirmar que cantidad de chile preferían los jueces (ya que no fueron distinguibles una de la otra), se descubrió que el hecho de incrementar la cantidad de chile no dio como resultado un aumento en su sabor ni en la pungencia. Para este fin es probable que se requiera cambiar esta materia prima, utilizando ahora una variedad más picante o más aromática, según se pretenda.

Estos análisis se pueden relacionar directamente con las determinaciones analíticas de capsaicina y de compuestos volátiles, recordando que la muestra con tratamiento de tostado 2 y más chile fue en la que se determinó la mayor cantidad de capsaicina, aunque la diferencia tampoco fue significativa. Por el otro lado, el análisis de volátiles no presentó un aumento importante en las áreas de los picos tentativamente responsables del sabor a chile en las cervezas cuando se incrementó la cantidad de chile utilizado. Esto se puede deber a que durante la cocción del mosto, que se realiza a presión atmosférica (cuba abierta) gran parte de los compuestos volátiles se pierden en forma de vapor, llegando hasta una concentración mínima fija. Otra posible solución es agregar el chile al final de la cocción y relajar esta última etapa a cuba cerrada, dificultando la volatilización de los compuestos.

Adicionalmente, en esta última prueba se les pidió a los jueces que ordenaran también las muestras en orden de agrado. Coincidentemente las dos muestras que fueron colocadas como con menos chile en la prueba de ordenación fueron calificadas mejor en la ordenación por agrado (muestras 239 y 325). Esto, en conjunto con las pruebas JAR hacen creer que cervezas con mayor sabor a chile, o mayor pungencia, no resultarían más agradables a los consumidores.

Conclusiones

-En el análisis de compuestos volátiles del chile se detectaron más de 60 compuestos, de los cuales 10 se encontraron consistentemente en las cervezas de maíz a las cuales se les agregó chile, pero no en cervezas que no contienen chile. Esto hace creer que son responsables del sabor a chile en las cervezas.

-El uso de distintas condiciones de tiempo y temperatura durante el tostado de las maltas originó productos con características físicas, químicas y sensoriales diferentes, las cuales fueron adecuadas para la elaboración de cerveza.

-Las antocianinas presentes en el maíz rojo son degradadas por los procesos de tostado, acercándose a ser cero en maltas de tostado intenso.

-Las maltas de maíz rojo, principalmente las maltas tostadas, presentan mayores cantidades de polifenoles totales así como una alta capacidad antioxidante comparándola con el maíz rojo sin maltear.

-La malta base de maíz presenta un poder diastásico cercano al 35% del presente en la malta Pale de cebada, reflejándose en bajos contenidos de azúcares reductores en el mosto. Sin embargo, los niveles de alcohol en las cervezas de maíz fueron cercanos a los presentes en cervezas industriales (3-4%).

-Las características fisicoquímicas de las cervezas de maíz son comparables con las de las cervezas comerciales.

-El contenido de capsaicina en las cervezas se encontró entre 25 y hasta 80mg/L.

-Las cervezas de maíz tienen una alta capacidad antioxidante, superior a las de las cervezas industriales.

-El uso de maltas tostadas en la elaboración de cervezas tiene un impacto positivo en cuanto al contenido de polifenoles totales así como en la neutralización de radicales libres, debido a la formación de compuestos de Maillard.

- Las cervezas elaboradas con maltas tostadas desarrollaron sabores y aromas que no están presentes en la cerveza de malta base debido a que la reacción de Maillard genera gran cantidad de compuestos aromáticos, que en las cantidades adecuadas resultan agradables.

-Las cervezas que más gustaron fueron las elaboradas con maltas del tratamiento 2 (170°C/60min) y tratamiento 3 (230°C/10min) según la prueba de ordenamiento.

-La prueba de Friedman para la escala hedónica detectó diferencias significativas entre el nivel de agrado de las muestras con tostado 2 (170°C/60min) y la muestra con tostado 4 (230°C/60min), así como con la muestra de tostado 1 (170°C/10min). En el resto de las comparaciones no se presentó diferencia significativa.

Perspectivas

El desarrollo de un nuevo producto siempre representa retos para los desarrolladores, y en el caso de la cerveza de maíz no es diferente. A pesar de que el proceso de elaboración de cerveza se conoce muy bien desde tiempos antiguos, el reemplazar una materia prima tan importante como es el cereal utilizado para elaborar las maltas representa la modificación de varias de las etapas a seguir.

Y estas modificaciones requieren de probar ciertas condiciones, analizar el producto y realizar los cambios pertinentes al proceso, en busca de las condiciones ideales de elaboración.

En el caso particular de la elaboración de las cervezas de maíz existen varios puntos que se pueden seguir desarrollando, nuevas cosas a probar y modificaciones que se pueden aplicar.

Entre los puntos que se pueden mencionar dentro de esto está el uso de las levaduras. Como se explicó en el trabajo, existen ciertas diferencias en la composición entre el maíz y la cebada, y saber cómo afectan estas diferencias a la actividad de la levadura es algo difícil de saber. Es necesario realizar más pruebas para conocer como es el crecimiento de la levadura en este nuevo medio. Si existe alguna modificación en su metabolismo, así como en la producción de metabolitos, tanto intermediarios como de desecho, ya que estos afectan directamente las características del producto final. Sobre la misma levadura, sería interesante evaluar la posibilidad de reutilización, con la finalidad de producir levaduras que estén mejor adaptadas al medio, caracterizar su comportamiento así como a las mismas levaduras, con la finalidad de saber si existen mutaciones después de varias generaciones, que las ayuden mejorar su crecimiento, rendimiento o producción de metabolitos. Así mismo, y derivado de lo anterior, tener un cultivo que se pueda utilizar sin necesidad de recurrir a las levaduras comerciales, y que se pueda mantener en activación continua.

Por otro lado, probar distintas condiciones de germinación, encaminadas a los mayores rendimientos de producción de enzimas, con la finalidad de aumentar el rendimiento de la transformación de almidón en azúcares fermentables. Igualmente probar las condiciones ideales para estas enzimas, modificando condiciones de maceración (tiempo y temperatura).

El proceso de tostado también puede ser aplicado con nuevas condiciones, para la obtención de maltas distintas, con lo que se vería favorecida la complejidad de sabores y el uso de combinaciones de maltas para dar distintas notas al producto, ya que en cervezas de cebada son pocos los casos en

que se utilizan formulación con un solo tipo de malta (hablando de las maltas tostadas) como sí se hizo en el presente trabajo. Gracias a la combinación de maltas se obtiene un sabor global con mayor riqueza de componentes, lo que es favorable en cantidades adecuadas. Y relacionado con la formulación, probar distintos lúpulos y cantidades de estos agregadas, buscando mayor acoplamiento con las características particulares del maíz.

Por la parte química, se puede realizar la caracterización de los compuestos con actividad biológica, tanto en las maltas como en las cervezas terminadas. Evaluar el contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante por otros métodos, como son la cromatografía en el primer caso y el método ORAC en el segundo. Esto debido a que son métodos más exactos y con mayor independencia entre ellos (esto referido a que es conocido que el método de polifenoles de Folin y el método de DPPH tienen niveles altos de correlación), además de tener mayor selectividad.

La caracterización de los compuestos volátiles del chile, así como los que son característicos de las cervezas de maíz, que no se logró concretar en este trabajo, quedan como un pendiente para futuros trabajos.

En otro ámbito, el tiempo de vida útil de las cervezas es algo que se ha dejado de lado por completo para los objetivos del proyecto, siendo un parámetro importante para su posible futura industrialización.

Finalmente, existe gran interés por parte de los consumidores por conocer los efectos del consumo en exceso del producto (referidos a los efectos producidos por el abuso del alcohol como embriaguez y malestares posteriores), que aunque de primera vista se cree que pudieran ser los mismos que al abusar en el consumo de cualquier otra bebida alcohólica, sería interesante conocer los efectos, y ver si en algún sentido son más benéficos o más severos.

Referencias

1. ¿Cerveza Artesanal? ¿Cerveza Industrial? (s.f.). Recuperado en Marzo del 2014. <http://beerdepot.com.mx/?p=942>
2. Agama, E. Ottenhof, M. Farhat, I. Paredes, O. Ortíz, J. Bello, L. Aislamiento y caracterización del almidón de maíces pigmentados. Revista Agrociencia, Volúmen 39, número 4. 2005.
3. Aguilera, M. Reza, M. Chew, R. Meza, J. Propiedades funcionales de las antocianinas. Biotecnología. XIII (2). 16-22. 2011
4. Aguilera, Y. Herrera, T. Benítez, V., Arribas, S., López de Pablo, A., Esteban, R., Martín, M. Estimation of scavenging capacity of melatonin and other antioxidants:

- Contribution and evaluation in germinated sedes. Food Chemistry 170, 203-211. 2015.
5. Bamforth, C. Brewing. New technologies. Woodhead Publishing Limited. Inglaterra, 2006.
 6. Baxter, E. y Hughes, P. Cerveza. Calidad, higiene y características nutricionales. Editorial Acribia. España, 2004.
 7. Botánica Morfológica. Morfología de plantas vasculares. Flor. Sexualidad y Prefloración. Ana María González. Recuperado 10 de Junio del 2015. http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema5/5_1sexualidad.htm
 8. Bogusz, S. Marchi, A. Teixeira, J. Alcaraz, C. Teixeira, H. Analysis of the volatile compounds of Brazilian chilli peppers (*Capsicum* spp.) at two stages of maturity by solid phase micro-extraction and gass chromatography-mass spectrometry. Food Research International 48, 98-107. 2012.
 9. Briedle, P. y Timberlake, C. Anthocyanins as natural food colours-selected aspects. Food Chemistry 58 (1-2) 103-109. 1997.
 10. Camacho, I. Navarro, R. Aguilar, E. Zazueta, J. Valenzuela, V. Gallegos, J. Cambios de color y antocianinas en una botana de tercera generación elaborada por extrusión a partir de harina de maíz azul y almidón de maíz. Memorias del Simposium Internacional sobre Tecnologías Convencionales y Alternativas en el Procesamiento de Maíz. Chihuahua, México. Agosto, 2011.
 11. Carrillo, G. Estudios analíticos por técnicas cromatográficas de la participación de los ácidos amargos derivados del lúpulo en la formación de los aldehídos de Strecker en la cerveza. Universidad Central de Venezuela. Facultad de ciencias. Posgrado en química. 2011.
 12. Cázares, E., Ramírez, P., Castillo, F., Soto, R., Rodríguez, M. y Chávez, J. Capsaicinoides y preferencia de uso en diferentes morfotipo de chile (*Capsicum annumm*) del centro-oriente de Yucatán. Agrociencia 39: 627-638. 2005.
 13. Chinn, M. Sharam, R. Cotter, J. Solvent extraction and quantification of capsaicinoides from *Capsicum Chinese*. Elsevier. Food and Bioproducts Processing 89, 340-345. 2011.
 14. Cruz, N. Tesis para obtener el grado de Especialización en Biotecnología. Desarrollo de un vocabulario para el análisis sensorial de Sendechó y cerveza de maíz. Posgrado en Biotecnología Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa 2012.
 15. Conoce los distintos tipos de cerveza. Karla Riquelme, 14 de Agosto del 2012. Recuperado en Marzo del 2014. <http://www.sabrosia.com/2012/08/conoce-los-distintos-tipos-de-cerveza/>

16. Cuevas, E. Antezana, A. Winterhalter, P. Análisis y caracterización de antocianinas en diferentes variedades de maíz (*Zea mays* L.) boliviano. Memorias red-alfa lagrotech, comunidad europea, Cartagena 2008.
17. Cuevas, E. Antezana, A. Winterhalter, P. Análisis y caracterización de antocianinas en diferentes variedades de maíz (*Zea mays* L.) boliviano. Memorias red-alfa lagrotech, comunidad europea, Cartagena 2008.
18. D'Acampora, B. Bicchi, C. Dugo, P. Rubiolo, P. Dugo, G., Mondello, L. Linear retention indices in gas chromatographic analysis: a review. *Flavor and Fragrance Journal*. 23: 297-314. 2008.
19. De la Presa, C. Aplicaciones del análisis sensorial en la industria vitivinícola. *Aplicaciones Industriales y Control de Calidad*. 2002.
20. De Keukeleire, D. Fundamentals of beer and hop chemistry. *Química Nova*, 23(1) 108-112. 2000
21. Del Pozo, I. Brenes, C. Serna, S. Talcott, S. Polyphenolic and antioxidant content of White and blue corn (*Zea mays* L.). *Food Research International*. 39: 696-703. 2006
22. Dzedzoave, N. T., Graffham, A. J., Westby, A., and Komlaga, G. Comparative assessment of amylolytic and cellulolytic enzyme activity of malts prepared from tropical cereals, *Food Control*, 21, 1349–1353. 2010.
23. Escalante, A., Ramírez, B., Torres, P. Barrón, J. Figueroa, J. López, J. La nixtamalización y su efecto en el contenido de antocianinas de maíces pigmentados, una revisión. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 36 (4) 429-437. 2013.
24. Fernández, A., Muñoz, A. Cambillo, E., Ramos, F., Ortiz, C. Efecto del consumo moderado de vino tinto sobre algunos factores de riesgo cardiovascular. *Acta Med Per* 24 (3), 145-152. 2007.
25. Fernández, G. Tesis doctoral: Extracción, Análisis, Estabilidad y Síntesis de Capsaicinoides. Facultad de Ciencias, Departamento de Química. Universidad de Cádiz. 2007.
26. Fix, G. Principles of Brewing Science. A Study of Serious Brewing Issues. Brewers Publications. Segunda Edición. Estados Unidos de América, 1999.
27. Forbes México. Roberto Arteaga, 17 de diciembre del 2013. Productores van por la "corona" de la cerveza artesanal. Recuperado en Febrero del 2014. <http://www.forbes.com.mx/sites/productores-van-por-la-corona-de-la-cerveza-artesanal/>
28. Galecio, G. y Haro, C. Bebidas fermentadas en base a "Maíz negro" *Zea mays* L. *poaceae*, con el eco tipo "racimo de uva" y la variedad "Mishca" de la serranía ecuatoriana. Tesis para la obtención del título de Ingeniero en Biotecnología de los Recursos Naturales. Universidad Politécnica de Salesiana, Quito. 2012.

29. Garruti, D. Frederico, N. Castro, V. Azevedo, M. Tobarutela, E. Da Silva, Í. Volatile profile and sensory quality of new varieties of *Capsicum chinense* pepper. *Cienc. Tecnol. Aliment.* Vol. 33, 1 (Campinas). 2013.
30. Gil, A. Tratado de nutrición. Tomo II: Composición y calidad nutritiva de los alimentos. Segunda edición. Editorial Medica Panamericana. España, 2010.
31. Glosario de bebidas mexicanas tradicionales (s.f.). Recuperado en Febrero del 2014. http://www.clubplaneta.com.mx/bar/glosario_de_bebidas_mexicanas_tradicionales_c.htm
32. González, M. Muñiz, P. Valls, V. Actividad antioxidante de la cerveza: estudios *in vitro* e *in vivo*. *Cerveza y Salud*. Centro de información. 2001
33. Gorriti, A. Arroyo, J. Negron, L. Jurado, B. Purizaca, H. Santiago, I. Taype, E. Quispe, F. Antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante de las corontas del maíz morado (*Zea mays L.*): Método de extracción. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*. 2009.
34. Guerrero, G., Flavia, G., Mendoza, S., Ramos, M., Reinoso, R., Figueroa, J. Efecto del consumo de tortillas de maíz pigmentado (*Zea Mays L.*) en indicadores de riesgo de cáncer de colon. *Revista electrónica de Divulgación Científica*. Universidad del SABES. Volumen 2. 2011.
35. Gump, H. y Pruet, D. *Beer and Wine Production. Analysis, Characterization, and Technological Advances*. American Chemical Society. Estados Unidos de Norteamérica, 1993.
36. Hardwick, W. *Handbook of Brewing*. Marcel Dekker, Inc. Estados Unidos de América. 185, 566, 578. 1995.
37. Henderson D. y Henderson S. Thermal Descomposition of Capsaicin. 1. Interactions with Oleic Acid at High Temperatures. *J. Agric. Food Chem.* 40; 2263-2268. 1992.
38. Hernández, A. Alfaro, I. Arrieta, R. *Microbiología Industrial*. Editorial UNED. San José, Costa Rica. 2003.
39. Hernández, N., Román, A. Caracterización de mosto elaborado a partir de malta chocolate para determinar su viabilidad en la elaboración de cerveza artesanal. XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Guanajuato, México. 2010
40. Hough, J. *Biología de la cerveza y la malta*. Editorial Acribia. España, 1990.
41. Huang, D., Ou, B., Prior, R. The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. *J. Agric. Food Chem.* 53: 1841-1856. 2005.
42. Izquierdo, L. Relación entre características sensoriales y aceptación de los consumidores. *Aplicaciones Industriales y Control de Calidad*. 2002.
43. Kuskoski, E. Asuero, A. Troncoso, A. Mancini-Filho, M. Fett, R. Actividad antioxidante de pigmentos antocianicos. *Cienc. Tecnol. Aliment.* Campinas, 24(4): 691-693. 2004.

44. Kuskoski, E. Asuero, A. Troncoso, A. Mancini-Filho, M. Fett, R. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar capacidad antioxidante en pulpa de frutos. *Cienc. Tecnol. Aliment. Campinas*, 25(4): 726-732. 2005.
45. Langner, E. y Rzeski, W. Biological properties of melanoidins: A review. *Internacional Journal of Food Properties*. 17:2, 344-353. 2013
46. López, V. Tesina para la obtención del grado de Especialización en Biotecnología. Sendeché, bebida prehispánica, estudio del malteado y propuesta tecnológica de elaboración. Posgrado en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa. 2012.
47. Mendoza, C. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias: Las antocianinas del maíz: su distribución en la planta y producción. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Postgrado de recursos genéticos y productividad génica. 2012
48. Mercante, A. y Bobbio, F. Anthocyanins in food: Occurrence and Physicochemical properties. In: *Food Colorants: Chemical and Functional Properties*. Socaciu C. CRC Press LLC. USA. 241-268. 2008
49. Método Beer-23. A beer bitterness "Bitterness Units (BU)" Técnicas analíticas de American Society of Brewing Chemist. 2009.
50. Método Wort 7 Y Beer 8. Total Acidity. "By potentiometric titration". Técnicas Analíticas de American Society of Brewing Chemist. 2009.
51. Métodos Wort 11 y Beer 12. Reducin sugars "Lane-Eynon volumetric method". Técnicas analíticas de American Society of Brewing Chemist. 2009.
52. Mex, R. Bolívar, N. Garma, P. Tut, J. Romero, K. Actividad antioxidante de cinco variedades de maíz cultivadas en Campeche, México. *Bol. Latinoam. Caribe Plant. Med. Aromat.* 12(6): 558 – 571. 2013.
53. México desconocido. Cultura (s.f.). Diccionario de bebidas tradicionales de México. Recuperado en Febrero del 2014. <http://www.mexicodesconocido.com.mx/diccionario-de-bebidas-tradicionales-mexicanas-8.html>
54. México desconocido. Gastronomía. Carlos Ramón Morales (s.f.). La cerveza artesanal en México. Recuperado en Marzo del 2014. <http://www.mexicodesconocido.com.mx/cerveza-artesanal-mexico.html>
55. Miranda, G., Ventura, J. Suárez, S. Fuertes, C. Actividad citotóxica y antioxidante de los productos de la reacción de Maillard de los sistemas modelo D-glucosa-Glicina y D-glucosa-L-Lisina. *Rev. Soc. Quím. Perú*. N° 4, 215-225. 2007.
56. Molina, D. Tesis para obtener el grado de Maestro en Biociencias: Contenido de compuestos fitoquímico y su relación con la capacidad antioxidante de extractos de pimientos (*Capsicum annum*) cultivados en el noroeste de México. División de

- Ciencias Biológicas y de la Salud. Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológica. Universidad de Sonora. 2009.
57. Montilla, E., Antezana, A. Winterhalter, P. Análisis y caracterización de antocianinas de diferentes variedades de maíz (*Zea mays*) boliviano. Mermorias Red-Alfa Lagrotech Comunidad Europea. 2008.
 58. Mora-Rochin, A. Gutiérrez, J. Serna, S. Sanchez, P. Reyes, C. Milán, J. Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization or extrusion cooking. Elsevier. Journal of Cereal Science. 52, 502-508. 2010.
 59. Muñoz, A. Fernández, A. Ramos, F. Alvarado, C. Evaluación de la actividad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en vinos producidos en Perú. Revista de la Sociedad Química del Perú. Vol. 73. N° 1, 30-40. 2007.
 60. Muñoz, A., Ramos, F., Alvarado, C. Castañeda, B. Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólico en recursos vegetales promisorios. Revista de la Sociedad Química del Perú. Vol. 73. N° 3, 142-149. 2007.
 61. Naranjo, M. Vélez, L. Rojano, B. Actividad antioxidante de café colombiano de diferentes calidades. Revista Cubana de Plantas Medicinales. Vol. 16 (2). 164-173. 2011.
 62. Nava, Deni. Estudio de cambios estructurales en algunos compuestos fenólicos durante la elaboración de Tescüino de maíz azul (*Zea mays*). Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias en Alimentos. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. 2009.
 63. Nyman, N. y Kumpulainen, J. Determination of anthocyanidins in berries and red wine by high performance liquid chromatography. J. Agric. Food Chem. 49 (9), 4183-4187. 2001.
 64. NMX-FF-107/1-SCFI-2006. Productos Alimenticios-Chiles Seco Enteros. (Guajillo, Ancho, De Árbol, Mulato, Puya y Pasilla). Parte 1. Especificaciones y Métodos de Prueba.
 65. Orellana, L. Ornelas, J. Oliva, G. Guerrero, J. Jimenez, J. Sepulveda, D. Determination of Absolute Thershold and Just Noticeable Difference in the Sensory Perception of Pungency. Journal of Food Science. Vol. 77. N°3. 2012.
 66. Padilla, F. Rincón, A. Bou-Rached, L. Contenido de polifenoles y actividad antioxidante de varias semillas y nueces. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Vol. 58 n° 3. 2008.
 67. Pajak, P. Socha, R. Galkowska, D. Jacek, R. Fortuna, T. Phenolic profile and antioxidant activity in selected sedes and sprouts. Food Chemistry 143, 300-306. 2013.

68. Perales, J., Reyes, C., Gómez, M. Milán, J., Cuevas, E., Valdez, A. Gutierrez, R. increasing the Antioxidant Activity, total Phenolic and Flavonoid Contents by Optimizing the Germination Conditions of Amaranth Seeds. *Plant Foods Human Nutrition* 69, 196-202. 2014.
69. Pérez, L., Chávez, K., Medina, L. Gámez, N. Compuestos fenólicos, melanoidinas y actividad antioxidante de café verde y procesado de las especies *Coffea arabica* y *Coffea canaphora*. *Biotecnia*. Volumen XV, Número 1, 51-56. 2013.
70. Priest, F. y Stewart, G. Manual de cervecería. Taylor and Francis group. Segunda edición. 2006.
71. Quispe, F., Arroyo, K, Gorriti, A. Características morfológicas y químicas de 3 cultivares de maíz morado (*Zea mays* L.) en Arequipa-Perú. *Rev. Soc. Quím. Perú.* 77 (3) 2011.
72. Recuperado en Marzo del 2014.
http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1080013824/1080013824_26.pdf
73. Raghvendra, V., Sharma, A., Shakya, M., Hedayatullah, G., shankar, A., Mishra, A., Deo, G., Pachpute, D. Chemical and potential aspect of anthocyanins-a eater-soluble vacuolar flavonoid pograms: a review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences review and Reserch* 6(1): 28-33. 2011.
74. Reyes, E. Salinas, H. Bravo, A. Padilla, L. Tecnología de producción de chile secos en el Estado de Zacatecas, México. *Terra*. 19: 83-88. 2001.
75. Rojano, B. Zapata, I., Cortes, F. Estabilidad de antocianinas y valores de capacidad de absorbancia de radicales oxígeno (ORAC) de extractor de corozo (*Bectris guineensis*). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. 17 (3):244-255. 2012.
76. Romero, A. Tesis para obtener el grado de Maestra en Biotecnología. Caracterización de cervezas de malta de maíz y de cebada basadas en su perfil sensorial, compuestos volátiles y capacidad antioxidante. Posgrado en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa. 2013.
77. Salinas, Y., Pérez, J., Vázquez, G. Aragón, F., Velázquez, G. Antocianinas y actividad antioxidante en maíces (*Zea mays* L.) de las razas Chalqueño, elotes cónicos y bolita. *Agrociencia* 46:693-706. 2012.
78. Salvador, R. Maíz. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Fitotecnia. Programa Nacional de Etnobotánica. 2001.
79. Serna, S., Gutiérrez, J., Mora, S., García, S. Potencial nutracéutico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 36, n° 3-A, 295-304, 2013.
80. Takahito, I., Makoto, S., hiramitsu, A. Takatoshi, K. Method of preparing a purified purple conr colouting agent. United States Patent. Patent N° US 7,192,456 B2. 2007.

81. Tanaka, Y. Hosokawa, M. Otsu, K. Watanabe, T. Yazawa, S. Assessment of Capsiconinoid Composition, Nonpungent Capsaicinoid Analogues in Capsicum Cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 57, 5407-5412. 2009.
82. Taylor, J. R., Dlamini, B. C. y Kruger, J. 125th Anniversary Review: The science of the tropical cereal sorghum, maize and rice in the relation to lager beer brewing. Institute of Brewing and Distilling Wiley Online Library. June 2013.
83. Valls, J. Lampreave, M., Nadal, M. Arola, L. Importancia de los compuestos fenólicos en la calidad de los vinos tintos de crianza. Unidad de Enología. Departamento de Bioquímica y Biotecnología. Universidad Rovira i Virgili (Tarragona). 2000.
84. Van Boeckel, MAJS. Formation of flavour compounds in the Maillard reaction. *Biotechnology Advances.* 24, 230-233. 2006.
85. Varnam, A. y Sutherland, J. Bebidas. Tecnología, química y microbiología. Editorial Acribia. Edición en español. Capítulo 7: Bebidas alcohólicas 1. Cerveza. España, 1997.
86. Vincent, M., Álvarez, S., Zaragoza, J. Química Industrial Orgánica. Universidad Politécnica de Valencia. 2006
87. Waizel, J. y Camacho R. El género *Capsicum* spp. (chile). Una versión panorámica. *Revista Aleph Zero de divulgación científica y tecnológica.* Universidad de las Américas Puebla. Año 16, Número 60, 2011.
88. Ziino, M., Conduro, C., Romeo, V., Tripodi, G., Verzera, A. Volatile compounds and capsaicinoid content of hot pepper (*Capsicum annuum*) of different calabrian varieties. *J Sci Food Agric.* 2009. 89, 774-780.

Anexo 1. Estadístico

1. Contenido de Compuestos bioactivos en maltas

1.1. Antocianinas

Análisis de varianza de un factor (tratamiento) para el contenido de antocianinas en el maíz y maltas de maíz buscando diferencias entre los tratamientos. Abajo, efecto de los factores temperatura, tiempo e interacción entre ellos (Anova de dos factores).

Analysis of Variance Table

| Source | | Sum of | Mean | | Prob | Power |
|------------------|----|----------|----------|---------|------------|--------------|
| Term | DF | Squares | Square | F-Ratio | Level | (Alpha=0.05) |
| A: C1 | 7 | 1340.563 | 191.509 | 110.91 | <0.000001* | 1.000000 |
| S(A) | 16 | 27.6284 | 1.726775 | | | |
| Total (Adjusted) | 23 | 1368.191 | | | | |
| Total | 24 | | | | | |

* Term significant at alpha = 0.05

Influencia de los factores

Analysis of Variance Table

| Source | | Sum of | Mean | | Prob | Power |
|------------------|----|----------|-----------|---------|-----------|--------------|
| Term | DF | Squares | Square | F-Ratio | Level | (Alpha=0.05) |
| A: tiempo | 2 | 5.76984 | 2.88492 | 3.03 | 0.122841 | 0.384720 |
| B: temperatura | 2 | 18.3027 | 9.15135 | 9.63 | 0.013410* | 0.856135 |
| AB | 4 | 0.2883 | 0.072075 | 0.08 | 0.986984 | 0.058041 |
| S | 6 | 5.7034 | 0.9505666 | | | |
| Total (Adjusted) | 14 | 30.06424 | | | | |
| Total | 15 | | | | | |

* Term significant at alpha = 0.05

1.2. Polifenoles Totales

Análisis de varianza de un factor (tratamiento) para el contenido polifenoles en el maíz y maltas de maíz buscando diferencias entre los tratamientos. Abajo, efecto de los factores temperatura, tiempo e interacción entre ellos (Anova de dos factores).

Analysis of Variance Table

| Source | | Sum of | Mean | | Prob | Power |
|------------------|----|----------|----------|---------|------------|--------------|
| Term | DF | Squares | Square | F-Ratio | Level | (Alpha=0.05) |
| A: C1 | 7 | 220044.3 | 31434.89 | 301.66 | <0.000001* | 1.000000 |
| S(A) | 16 | 1667.313 | 104.2071 | | | |
| Total (Adjusted) | 23 | 221711.6 | | | | |
| Total | 24 | | | | | |

* Term significant at alpha = 0.05

Influencia de los factores

Analysis of Variance Table

| Source | | Sum of | Mean | | Prob | Power |
|-----------|----|----------|----------|---------|----------|--------------|
| Term | DF | Squares | Square | F-Ratio | Level | (Alpha=0.05) |
| A: tiempo | 2 | 1259.317 | 629.6584 | 2.43 | 0.168301 | 0.317698 |

| | | | | | | |
|------------------|----|----------|----------|-------|-----------|----------|
| B: temperatura | 2 | 11088.7 | 5544.352 | 21.43 | 0.001852* | 0.994680 |
| AB | 4 | 538.1441 | 134.536 | 0.52 | 0.725699 | 0.110345 |
| S | 6 | 1552.378 | 258.7297 | | | |
| Total (Adjusted) | 14 | 14438.54 | | | | |
| Total | 15 | | | | | |

* Term significant at alpha = 0.05

1.3. Capacidad antioxidante

Análisis de varianza de un factor (tratamiento) para la capacidad antioxidante en el maíz y maltas de maíz buscando diferencias entre los tratamientos. Abajo, efecto de los factores temperatura, tiempo e interacción entre ellos (Anova de dos factores).

Analysis of Variance Table

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F-Ratio | Prob Level | Power (Alpha=0.05) |
|------------------|----|----------------|-------------|---------|------------|--------------------|
| A: C1 | 7 | 17502.9 | 2500.415 | 41.36 | <0.000001* | 1.000000 |
| S(A) | 16 | 967.22 | 60.45125 | | | |
| Total (Adjusted) | 23 | 18470.13 | | | | |
| Total | 24 | | | | | |

* Term significant at alpha = 0.05

Influencia de los factores

Analysis of Variance Table

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F-Ratio | Prob Level | Power (Alpha=0.05) |
|------------------|----|----------------|-------------|---------|------------|--------------------|
| A: tiempo | 2 | 413.624 | 206.812 | 2.34 | 0.177635 | 0.306702 |
| B: temperatura | 2 | 241.1137 | 120.5568 | 1.36 | 0.325278 | 0.195145 |
| AB | 4 | 582.5527 | 145.6382 | 1.65 | 0.278619 | 0.266378 |
| S | 6 | 531.02 | 88.50333 | | | |
| Total (Adjusted) | 14 | 1768.31 | | | | |
| Total | 15 | | | | | |

* Term significant at alpha = 0.05

2. Contenido de capsaicina en Cervezas

Análisis de varianza del contenido de capsaicina en las cervezas de maíz (un solo factor, tratamiento).

Analysis of Variance Table

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F-Ratio | Prob Level | Power (Alpha=0.05) |
|------------------|----|----------------|-------------|---------|------------|--------------------|
| A: Capsaicina | 6 | 5543.063 | 923.8439 | 3.42 | 0.027174* | 0.793996 |
| S(A) | 14 | 3782 | 270.1429 | | | |
| Total (Adjusted) | 20 | 9325.063 | | | | |
| Total | 21 | | | | | |

* Term significant at alpha = 0.05

3. Análisis de Cervezas

3.1. Análisis fisicoquímicos de mostos

Análisis de varianza de los datos obtenidos en las determinaciones fisicoquímicas de los mostos (un factor, tratamiento). Alfa =0.05.

| Término | GL/GLe | Valor-F | Valor p |
|---------------------|--------|---------|------------|
| pH | 6/14 | 147.52 | <0.000001* |
| Acidez | 6/14 | 105.89 | <0.000001* |
| Azúcares reductores | 6/14 | 86.82 | <0.000001* |

3.2. Análisis fisicoquímicos de cerveza verde

Análisis de varianza de los datos obtenidos en las determinaciones fisicoquímicas de las cervezas verdes (un factor, tratamiento). Alfa =0.05

| Término | GL/GLe | Valor-F | Valor p |
|---------------------|--------|---------|------------|
| pH | 6/14 | 106.78 | <0.000001* |
| Acidez | 6/14 | 547.95 | <0.000001* |
| Azúcares reductores | 6/14 | 18.37 | 0.000007* |

3.3. Análisis fisicoquímicos de cerveza madura

Análisis de varianza de los datos obtenidos en las determinaciones fisicoquímicas de las cervezas maduras (un factor, tratamiento). Alfa =0.05

| Término | GL | Valor-F | Valor p |
|---------------------|------|---------|------------|
| pH | 6/14 | 184.12 | <0.000001* |
| Acidez | 6/14 | 6.88 | 0.001464* |
| Azúcares reductores | 6/14 | 3.35 | 0.029352* |
| Alcohol | 6/14 | 10.63 | 0.000156* |
| Amargor | 6/14 | 85.27 | <0.000001* |

4. Compuestos bioactivos en cervezas

4.1. Antocianinas

Análisis de varianza de un factor (tratamiento) para detectar diferencias en el contenido de antocianinas en las distintas cervezas de maíz.

Analysis of Variance Table

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F-Ratio | Prob Level | Power (Alpha=0.05) |
|----------------|----|----------------|-------------|---------|------------|--------------------|
| A: Tratamiento | 6 | 135.4318 | 22.57197 | 36.19 | <0.000001* | 1.000000 |

| | | | |
|------------------|----|----------|-----------|
| S(A) | 14 | 8.732 | 0.6237143 |
| Total (Adjusted) | 20 | 144.1638 | |
| Total | 21 | | |

* Term significant at alpha = 0.05

4.2. Polifenoles

Análisis de varianza de un factor (tratamiento) para detectar diferencias en el contenido de polifenoles en las distintas cervezas de maíz.

Analysis of Variance Table

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F-Ratio | Prob Level | Power (Alpha=0.05) |
|------------------|----|----------------|-------------|---------|------------|--------------------|
| A: tratamiento | 6 | 27107.32 | 4517.886 | 8.71 | 0.000450* | 0.997212 |
| S(A) | 14 | 7262.047 | 518.7177 | | | |
| Total (Adjusted) | 20 | 34369.36 | | | | |
| Total | 21 | | | | | |

* Term significant at alpha = 0.05

4.3. Capacidad antioxidante

Análisis de varianza de un factor (tratamiento) para detectar diferencias en la capacidad antioxidante en las distintas cervezas de maíz.

Analysis of Variance Table

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F-Ratio | Prob Level | Power (Alpha=0.05) |
|------------------|----|----------------|-------------|---------|------------|--------------------|
| A: tratamiento | 6 | 3196.034 | 532.6723 | 6.95 | 0.001389* | 0.986493 |
| S(A) | 14 | 1072.804 | 76.62883 | | | |
| Total (Adjusted) | 20 | 4268.837 | | | | |
| Total | 21 | | | | | |

* Term significant at alpha = 0.05

5. Análisis cuantitativo descriptivo(QDA)

Anova de dos factores, siendo el tratamiento factor fijo y los jueces factor anidado, para la detección de diferencias en las calificaciones de los descriptores entre las muestras de cerveza con malta tostada. Alfa =0.05.

| Descriptor | GL1/GL2/GLe | Valor-F | Valor-p |
|------------------|-------------|---------|------------|
| Color | 4/18/72 | 32.36 | <0.000001* |
| Espuma | 4/18/72 | 12.48 | <0.000001* |
| Gasificación | 4/18/72 | 3.36 | 0.03200* |
| Turbidez | 4/18/72 | 57.88 | <0.000001* |
| Plátano macho | 4/18/72 | 0.75 | 0.57421 |
| Dulce de plátano | 4/18/72 | 1.23 | 0.333363 |

| | | | |
|--------------------|---------|------|-----------|
| Frutas | 4/18/72 | 0.39 | 0.815349 |
| Manzana | 4/18/72 | 0.22 | 0.925676 |
| Levadura | 4/18/72 | 0.35 | 0.838582 |
| Maíz cocido | 4/18/72 | 1.03 | 0.410334 |
| Frutas fermentadas | 4/18/72 | 0.28 | 0.885494 |
| Frutos secos | 4/18/72 | 0.18 | 0.947961 |
| Alcohol | 4/18/72 | 1.21 | 0.340194 |
| Chiles secos | 4/18/72 | 0.79 | 0.546476 |
| Piña madura | 4/18/72 | 0.36 | 0.832157 |
| Lúpulo | 4/18/72 | 1.07 | 0.401883 |
| Pan bolillo | 4/18/72 | 0.46 | 0.763702 |
| Caramelo | 4/18/72 | 1.07 | 0.401766 |
| Cereales | 4/18/72 | 0.13 | 0.968888 |
| Piloncillo | 4/18/72 | 0.51 | 0.727869 |
| Aceituna | 4/18/72 | 0.84 | 0.515204 |
| Maíz azul | 4/18/72 | 0.49 | 0.745444 |
| Maíz rojo | 4/18/72 | 0.76 | 0.535653 |
| Floral | 4/18/72 | 1.50 | 0.244200 |
| *Dulce | 4/18/72 | 2.66 | 0.066528 |
| Salado | 4/18/72 | 0.94 | 0.464193 |
| *Amargo | 4/18/72 | 2.49 | 0.074965 |
| Ácido | 4/18/72 | 1.34 | 0.293701 |
| Oxidado | 4/18/72 | 4.12 | 0.015291* |
| Agrio | 4/18/72 | 2.16 | 0.114643 |
| Lúpulo | 4/18/72 | 3.38 | 0.031499* |
| Malta | 4/18/72 | 1.95 | 0.145458 |
| Alcohol | 4/18/72 | 0.68 | 0.616428 |
| Pan tostado | 4/18/72 | 0.70 | 0.604927 |
| Semillas | 4/18/72 | 0.11 | 0.976764 |
| Grano cocido | 4/18/72 | 0.37 | 0.825183 |
| Verduras cocidas | 4/18/72 | 0.85 | 0.511179 |
| Frutas fermentadas | 4/18/72 | 0.13 | 0.969796 |
| Tortillas quemadas | 4/18/72 | 0.44 | 0.780331 |
| Picante | 4/18/72 | 1.29 | 0.311099 |
| Metálico | 4/18/72 | 3.78 | 0.003568* |
| Astringente | 4/18/72 | 2.55 | 0.074534 |
| Alcohólico | 4/18/72 | 0.32 | 0.858949 |
| Carbonatación | 4/18/72 | 0.60 | 0.667081 |
| Cuerpo | 4/18/72 | 7.00 | 0.001397* |

6. Pruebas de consumidores

6.1. Comparación, cerveza de malta base con cervezas tostadas

Prueba de Friedman para detección de diferencias significativas en el nivel de agrado de las cervezas de malta base, con tostado 1 y con tostado 3.

Prueba de Friedman:

| | |
|---------------------|--------|
| Q (Valor observado) | 38.168 |
| Q (Valor crítico) | 5.991 |
| | < |
| p-valor (bilateral) | 0,0001 |
| Alfa | 0.05 |

Determinación de las diferencias en nivel de agrado para las cervezas de malta base, con tostado 1 y con tostado 3.

Comparaciones múltiples por pares mediante el procedimiento de Nemenyi /
Prueba bilateral:

| Muestra | Frecuencia | Suma de los rangos | Media de los rangos | Grupos |
|-----------|------------|--------------------|---------------------|--------|
| tostado 3 | 40 | 56.500 | 1.413 | A |
| tostado 1 | 40 | 85.500 | 2.138 | B |
| Base | 40 | 98.000 | 2.450 | B |

6.2. Comparación de cerveza con maltas tostadas

6.2.1. Friedman

Prueba de Friedman para detección de diferencias significativas en el nivel de agrado de las cervezas con los distintos grados de tostado.

Prueba de Friedman:

| | |
|---------------------|-------|
| Q (Valor observado) | 8.234 |
| Q (Valor crítico) | 7.815 |
| p-valor (bilateral) | 0.036 |
| Alfa | 0.05 |

Comparaciones múltiples por pares mediante el procedimiento de Nemenyi / Prueba bilateral:

| Muestra | Frecuencia | Suma de los rangos | Media de los rangos | Grupos |
|---------|------------|--------------------|---------------------|--------|
| 216 | 45 | 101.500 | 2.256 | A |
| 343 | 45 | 107.500 | 2.389 | A |
| 580 | 45 | 109.500 | 2.433 | A |
| 499 | 45 | 131.500 | 2.922 | A |

p-valores:

| | 580 | 343 | 499 | 216 |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| 580 | 1 | 0.870 | 0.050 | 0.514 |
| 343 | 0.870 | 1 | 0.072 | 0.624 |
| 499 | 0.050 | 0.072 | 1 | 0.014 |
| 216 | 0.514 | 0.624 | 0.014 | 0 |

6.2.2. Wilcoxon

Como se observa en los cuadros anteriores, la prueba de Friedman detecta diferencia entre alguna de las muestras, pero no es capaz de indicar cuál. Con la tabla de los valores p es posible intuir cuales son las muestras que presentan diferencia significativa. Para confirmar, la prueba comparativa de Wilcoxon fue empleada.

Prueba de Wilcoxon de los rangos signados / Prueba bilateral: (comparando 499vs216)

| | |
|-----------|---------|
| V | 461.500 |
| Esperanza | 315.000 |

| | |
|------------------------|----------|
| Varianza (V) | 3611.250 |
| p-valor (bilateral) | 0.015 |
| Alfa | 0.05 |

Prueba de Wilcoxon de los rangos signados / Prueba bilateral: (comparando 499vs580)

| | |
|------------------------|----------|
| V | 430.500 |
| Esperanza | 297.500 |
| Varianza (V) | 3296.125 |
| p-valor (bilateral) | 0.021 |
| Alfa | 0.05 |

7. Análisis de penalidades

7.1. Tratamiento de tostado 1

| Variable | Nivel | Frecuencias | % | valor-p | Significativo | Penalidades | valor-p | Significativo |
|----------|-------|-------------|--------|---------|---------------|-------------|---------|---------------|
| 580 t | menos | 28 | 62.22% | 0.148 | No | | | |
| | justo | 13 | 28.89% | | | 0.851 | 0.103 | No |
| | más | 4 | 8.89% | 0.998 | No | | | |
| 580 p | menos | 39 | 86.67% | 0.143 | No | | | |
| | justo | 4 | 8.89% | | | 1.171 | 0.156 | No |
| | más | 2 | 4.44% | | | | | |
| 580 a | menos | 22 | 48.89% | 0.057 | No | | | |
| | justo | 17 | 37.78% | | | 1.336 | 0.004 | Sí |
| | más | 6 | 13.33% | 0.0001 | Sí | | | |

7.2. Tratamiento de tostado 2

| Variable | Nivel | Frecuencias | % | valor-p | Significativo | Penalidades | valor-p | Significativo |
|----------|-------|-------------|--------|---------|---------------|-------------|---------|---------------|
| 499 t | menos | 14 | 31.11% | 0.112 | No | | | |
| | justo | 20 | 44.44% | | | 0.460 | 0.321 | No |
| | más | 11 | 24.44% | 0.948 | No | | | |
| 499 p | menos | 28 | 62.22% | 0.207 | No | | | |
| | justo | 11 | 24.44% | | | 0.880 | 0.097 | No |
| | más | 6 | 13.33% | 0.087 | No | | | |

| | | | | | | | | |
|-------|-------|----|--------|-------|----|-------|-------|----|
| 499 a | menos | 11 | 24.44% | 0.145 | No | 0.704 | 0.131 | No |
| | justo | 18 | 40.00% | | | | | |
| | más | 16 | 35.56% | 0.354 | No | | | |

7.3. Tratamiento de tostado 3

| Variable | Nivel | Frecuencias | % | valor-p | Significativo | Penalidades | valor-p | Significativo |
|----------|-------|-------------|--------|----------|---------------|-------------|---------|---------------|
| 343 t | menos | 11 | 24.44% | 0.229 | No | 0.796 | 0.072 | No |
| | justo | 18 | 40.00% | | | | | |
| | más | 16 | 35.56% | 0.136 | No | | | |
| 343 p | menos | 37 | 82.22% | 0.569 | No | 0.890 | 0.251 | No |
| | justo | 4 | 8.89% | | | | | |
| | más | 4 | 8.89% | < 0.0001 | Sí | | | |
| 343 a | menos | 15 | 33.33% | 0.696 | No | 0.470 | 0.288 | No |
| | justo | 20 | 44.44% | | | | | |
| | más | 10 | 22.22% | 0.380 | No | | | |

7.4. Tratamiento de tostado 4

| Variable | Nivel | Frecuencias | % | valor-p | Significativo | Penalidades | valor-p | Significativo |
|----------|-------|-------------|--------|---------|---------------|-------------|---------|---------------|
| 216 t | menos | 9 | 20.00% | 0.866 | No | -0.425 | 0.536 | No |
| | justo | 13 | 28.89% | | | | | |
| | más | 23 | 51.11% | 0.543 | No | | | |
| 216 p | menos | 27 | 60.00% | 0.504 | No | -0.465 | 0.520 | No |
| | justo | 11 | 24.44% | | | | | |
| | más | 7 | 15.56% | 0.808 | No | | | |
| 216 a | menos | 8 | 17.78% | 0.373 | No | 0.595 | 0.376 | No |
| | justo | 14 | 31.11% | | | | | |
| | más | 22 | 48.89% | 0.737 | No | | | |

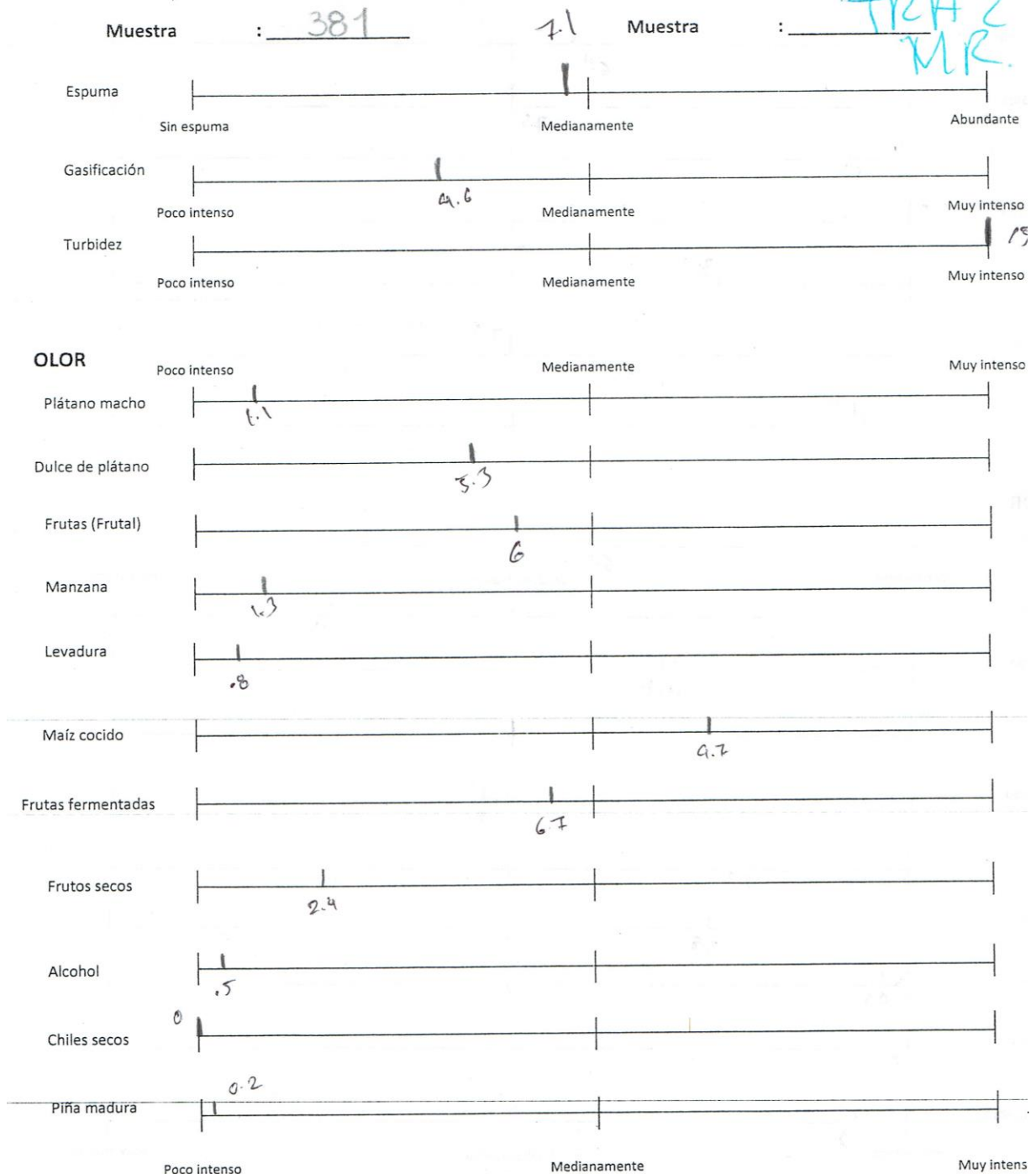
Anexo 2. Encuestas aplicadas

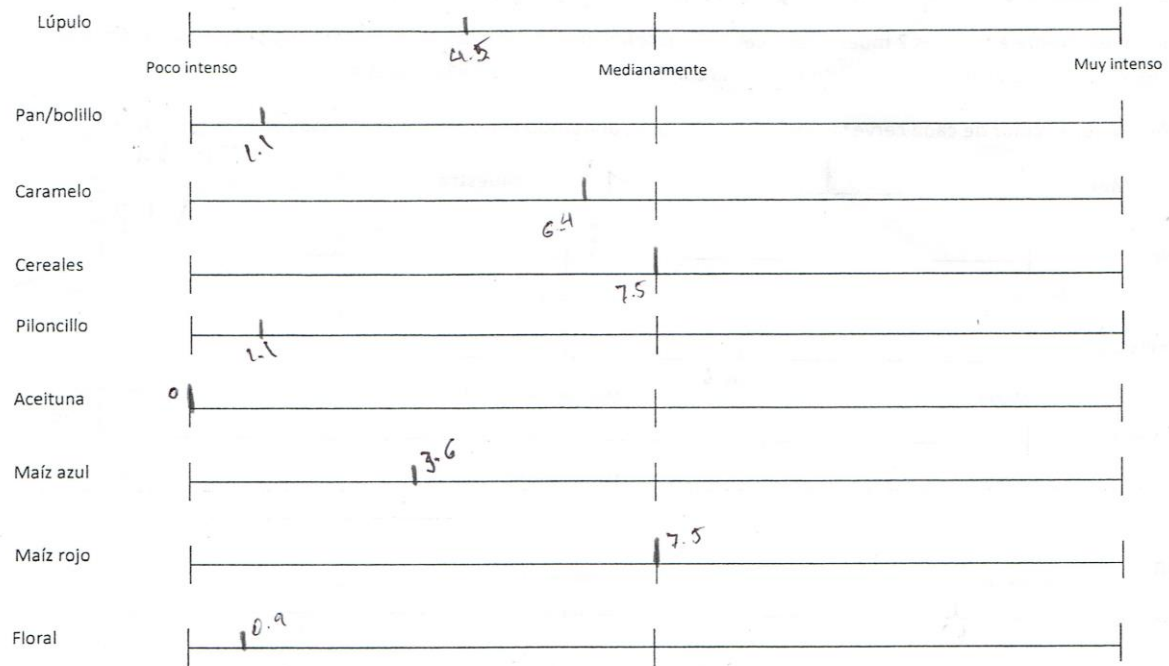
Encuestas para el QDA, jueces entrenados

Nombre: Alfredo Del Aguila Coria Fecha: 17/06/15

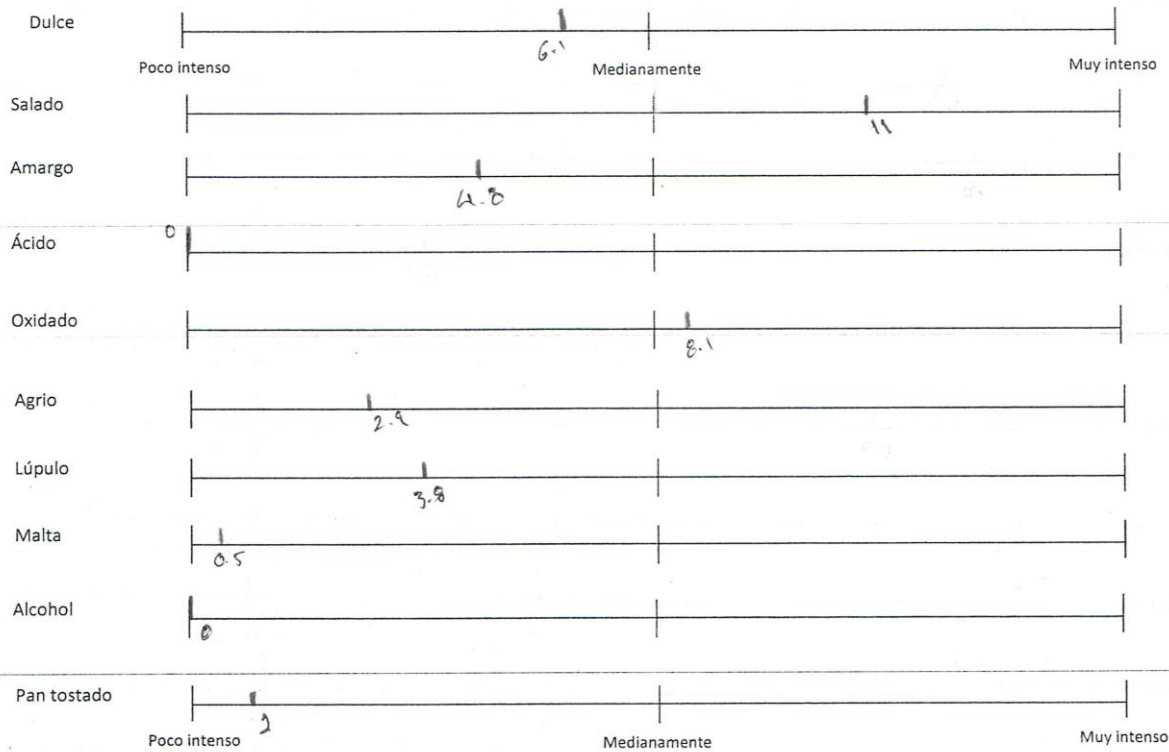
Instrucciones: Frente a ti tienes 2 muestras de cerveza, observa, huele y prueba cada una y evalúa la intensidad de cada atributo, marcando una línea vertical sobre la escala e indicando el número de la muestra.

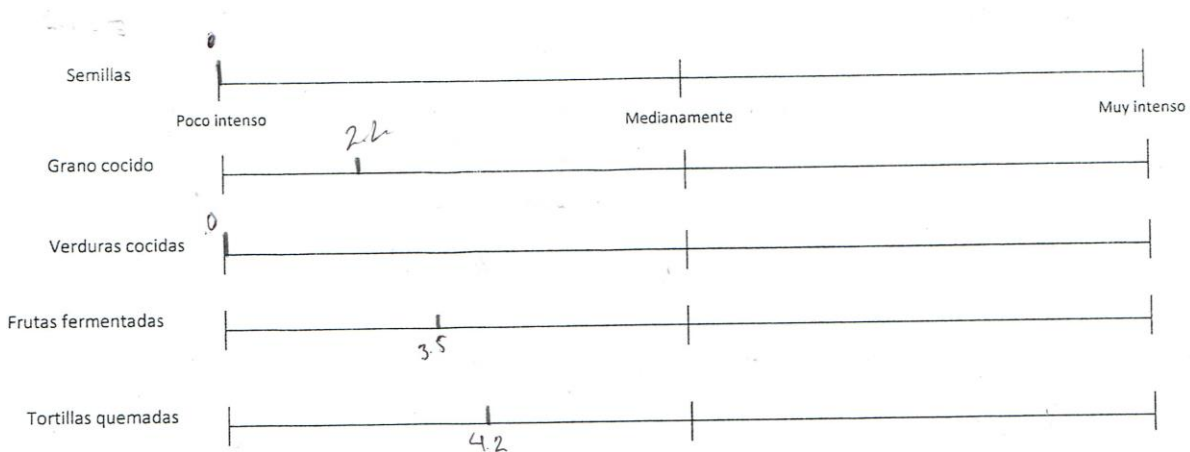
VISUAL: Evalúa el color de cada cerveza con la tabla de color, anotando el número que corresponda sobre la línea:



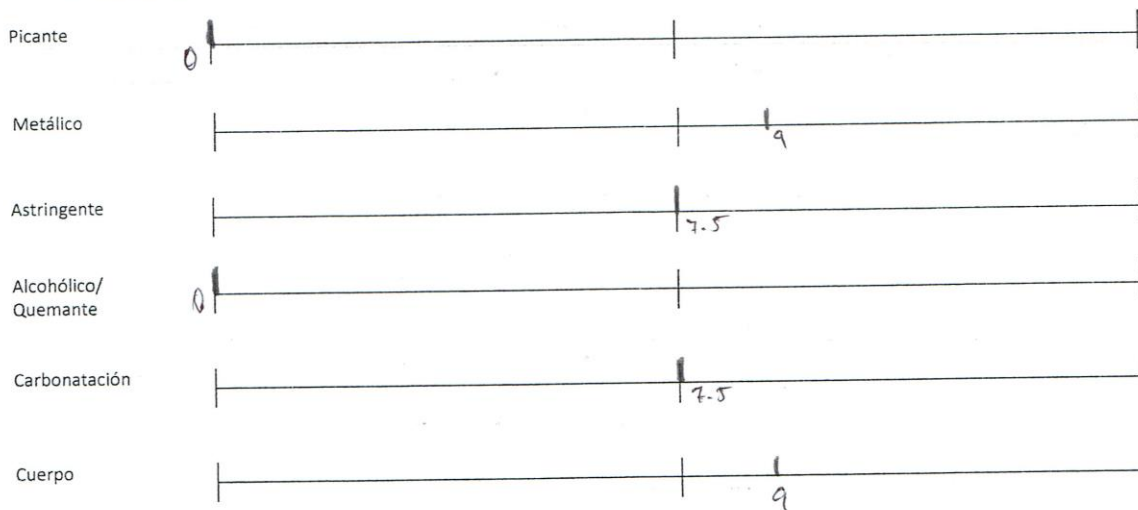


SABOR





SENSACIONES EN BOCA



GRACIAS

Encuestas a consumidores, malta base vs tostadas

Edad 27

Ocupación Ing Forestal

A continuación se le presentan 4 muestras de cerveza, pruebe una por una y califique cada atributo de acuerdo a su propio criterio.

Apariencia general

| Me gusta muchísimo | Me gusta mucho | Me gusta | Me gusta poco | No me gusta ni me disgusta | Me disgusta poco | Me disgusta | Me disgusta mucho | Me disgusta muchísimo |
|--------------------|----------------|----------|---------------|----------------------------|------------------|-------------|-------------------|-----------------------|
| 135 | | X | | | | | | |
| 248 | | X | | | | | | |
| 960 | X | | | | | | | |
| 751 | X | | | | | | | |

Sabor a maíz

| Me gusta muchísimo | Me gusta mucho | Me gusta | Me gusta poco | No me gusta ni me disgusta | Me disgusta poco | Me disgusta | Me disgusta mucho | Me disgusta muchísimo |
|--------------------|----------------|----------|---------------|----------------------------|------------------|-------------|-------------------|-----------------------|
| 135 | | | X | | | | | |
| 248 | | | | X | | | | |
| 960 | | X | | | | | | |
| 751 | X | | | | | | | |

Sabor a tostado/café

| Me gusta muchísimo | Me gusta mucho | Me gusta | Me gusta poco | No me gusta ni me disgusta | Me disgusta poco | Me disgusta | Me disgusta mucho | Me disgusta muchísimo |
|--------------------|----------------|----------|---------------|----------------------------|------------------|-------------|-------------------|-----------------------|
| 135 | | X | | | | | | |
| 248 | | | X | | | | | |
| 960 | X | | | | | | | |
| 751 | | X | | | | | | |

Amargor

| Me gusta muchísimo | Me gusta mucho | Me gusta | Me gusta poco | No me gusta ni me disgusta | Me disgusta poco | Me disgusta | Me disgusta mucho | Me disgusta muchísimo |
|--------------------|----------------|----------|---------------|----------------------------|------------------|-------------|-------------------|-----------------------|
| 135 | | | | | X | | | |
| 248 | | | | X | | | | |
| 960 | | X | | | | | | |
| 751 | X | | | | | | | |

Picor

| Me gusta muchísimo | Me gusta mucho | Me gusta | Me gusta poco | No me gusta ni me disgusta | Me disgusta poco | Me disgusta | Me disgusta mucho | Me disgusta muchísimo |
|--------------------|----------------|----------|---------------|----------------------------|------------------|-------------|-------------------|-----------------------|
| 135 | | | | X | | | | |
| 248 | | | | X | | | | |
| 960 | | | | X | | | | |
| 751 | | | | X | | | | |

Alcohol

| Me gusta muchísimo | Me gusta mucho | Me gusta | Me gusta poco | No me gusta ni me disgusta | Me disgusta poco | Me disgusta | Me disgusta mucho | Me disgusta muchísimo |
|--------------------|----------------|----------|---------------|----------------------------|------------------|-------------|-------------------|-----------------------|
| 135 | | | | X | | | | |
| 248 | | X | | | | | | |
| 960 | X | | | | | | | |
| 751 | X | | | | | | | |

Agrado general

| Me gusta muchísimo | Me gusta mucho | Me gusta | Me gusta poco | No me gusta ni me disgusta | Me disgusta poco | Me disgusta | Me disgusta mucho | Me disgusta muchísimo |
|--------------------|----------------|----------|---------------|----------------------------|------------------|-------------|-------------------|-----------------------|
| 135 | | X | | | | | | |
| 248 | | | X | | | | | |
| 960 | X | | | | | | | |
| 751 | | X | | | | | | |

Encuesta a consumidores, comparación de tratamientos de tostado



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Iztapalapa

Género Femenino Edad 51 años

Pruebe las siguientes muestras y ordénelas, de derecha a izquierda, según le agraden (la primera a la derecha debe ser la de mayor agrado)

343 216 580 499

De ser necesario, volver a probar las muestras y marcar con una "X" según su opinión.

Nivel de agrado general

| Muestra | Me desagrada muchísimo | Me desagrada mucho | Me desagrada | Me desagrada un poco | No me agrada ni me desagrada | Me agrada un poco | Me agrada | Me agrada mucho | Me agrada muchísimo |
|---------|------------------------|--------------------|--------------|----------------------|------------------------------|-------------------|-----------|-----------------|---------------------|
| 580 | | | | | | | | X | |
| 343 | | | | | | X | | | |
| 499 | | | | | | | | | X |
| 216 | | | | | | | X | | |

Muestra 580

Intensidad del sabor Tostado/Café

| Mucho menos de lo que esperaba | Menos de lo que esperaba | Justo como lo esperaba | Más de lo que esperaba | Mucho más de lo que esperaba |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|
| | | | X | |

Intensidad del Picor/Sabor a chile

| Mucho menos de lo que esperaba | Menos de lo que esperaba | Justo como lo esperaba | Más de lo que esperaba | Mucho más de lo que esperaba |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|
| | | X | | |

Intensidad del amargor

| Mucho menos de lo que esperaba | Menos de lo que esperaba | Justo como lo esperaba | Más de lo que esperaba | Mucho más de lo que esperaba |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|
| | | X | | |

Muestra 343

Intensidad del sabor Tostado/Café

| Mucho menos de lo que esperaba | Menos de lo que esperaba | Justo como lo esperaba | Más de lo que esperaba | Mucho más de lo que esperaba |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|
| | | X | | |

Intensidad del Picor/Sabor a chile

| Mucho menos de lo que esperaba | Menos de lo que esperaba | Justo como lo esperaba | Más de lo que esperaba | Mucho más de lo que esperaba |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|
| | X | | | |

Intensidad del amargor

| Mucho menos de lo que esperaba | Menos de lo que esperaba | Justo como lo esperaba | Más de lo que esperaba | Mucho más de lo que esperaba |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|
| | | X | | |

Muestra 499

Intensidad del sabor Tostado/Café

| Mucho menos de lo que esperaba | Menos de lo que esperaba | Justo como lo esperaba | Más de lo que esperaba | Mucho más de lo que esperaba |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|
| | | | | X |

Intensidad del Picor/Sabor a chile

| Mucho menos de lo que esperaba | Menos de lo que esperaba | Justo como lo esperaba | Más de lo que esperaba | Mucho más de lo que esperaba |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|
| | | X | | |

Intensidad del amargor

| Mucho menos de lo que esperaba | Menos de lo que esperaba | Justo como lo esperaba | Más de lo que esperaba | Mucho más de lo que esperaba |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|
| | | | X | |

Muestra 216

Intensidad del sabor Tostado/Café

| Mucho menos de lo que esperaba | Menos de lo que esperaba | Justo como lo esperaba | Más de lo que esperaba | Mucho más de lo que esperaba |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|
| 239 | | | | X |

Intensidad del Picor/Sabor a chile

| Mucho menos de lo que esperaba | Menos de lo que esperaba | Justo como lo esperaba | Más de lo que esperaba | Mucho más de lo que esperaba |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|
| | X | | | |

Intensidad del amargor

| Mucho menos de lo que esperaba | Menos de lo que esperaba | Justo como lo esperaba | Más de lo que esperaba | Mucho más de lo que esperaba |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|
| | | | | X |

Encuestas de consumidores, comparación originales vs más chile

Evaluación de Cerveza Artesanal de Maíz

Las siguientes muestras de cerveza están elaboradas con ciertos porcentajes de chile en sus formulaciones. Pruebe las cuatro muestras y ordénelas en dos ocasiones, siguiendo la codificación, según su percepción.

Ordenamiento por cantidad de chile.

| | | | | | |
|-----------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| Más chile | <u>239</u> | <u>325</u> | <u>448</u> | <u>571</u> | Menos chile |
|-----------|------------|------------|------------|------------|-------------|

Ordenamiento por nivel de agrado.

| | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| Más agrado | <u>571</u> | <u>239</u> | <u>448</u> | <u>325</u> | Menos agrado |
|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|

Anexo 3. Descriptores utilizados en el QDA

| Atributo | Descripción/Referencia |
|--------------------|---|
| Color | Tonalidad/ tabla de referencia de la ASBC |
| Espuma | Corona de espuma/ imágenes de referencia |
| Gasificación | Formación de burbuja/ imágenes de referencia |
| Turbidez | Opacidad de la muestra/ resistencia al paso de la luz |
| Plátano macho | Plátano macho, fruto maduro |
| Dulce de plátano | Acetato de isoamilo |
| Frutas | Hexanoato de etilo |
| Manzanas | Acetaldehído |
| Levadura | Levadura para cerveza |
| Maíz cocido | Maíz cocido, "esquites" |
| Frutas fermentadas | Fermentado de frutas (tepache) |
| Frutos secos | Pasas, orejones |
| Alcohol | Etanol |
| Chiles secos | Chile guajillo |
| Piña madura | Piña madura |
| Lúpulo | Pellets de lúpulo |
| Pan de dulce | Pan |
| Caramelo | Caramelo |
| Cereales | Trigo, avena, cebada |
| Piloncillo | Piloncillo |
| Aceituna | Salmuera de aceituna |
| Maíz azul | Malta de maíz azul |
| Maíz rojo | Malta de maíz rojo |
| Floral | Rosas, perfume/ Geraniol |
| Dulce | Gusto dulce/ sacarosa |
| Salado | Gusto salado/ cloruro de sodio |
| Amargo | Gusto amargo/ iso- α -ácidos de lúpulo |
| Ácido | Gusto ácido/ ácido cítrico |
| Oxidado | Trans-2-nonenal |
| Agrio | Ácido butírico |
| Lúpulo | Extracto de lúpulo |
| Malta | Malta |
| Alcohol | Bebida alcohólica |
| Pan tostado | Pan tostado |
| Semillas | Maíz, girasol |
| Grano cocido | Maíz cocido |
| Verduras cocidas | Dimetil sulfuro |
| Frutas fermentadas | Tepache |
| Tortillas quemadas | Tortillas quemadas |
| Picante | Pungencia/ extracto de chile |
| Metálico | Sabor a moneda/ sulfato ferroso o amoniacal |
| Astringente | Sensación de sequedad/ astringosol |

| | |
|---------------|--|
| Alcohólico | Sensación quemante/ bebida alcohólica |
| Carbonatación | Burbujeo en la boca/ refresco, cerveza |
| Cuerpo | Viscosidad, densidad, espeso |



Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería

La Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, A.C. otorga la presente

Constancia

A: Darío Rafael Gómez Linton *Ponente, José Ramón Verde Calvo, Héctor Bernardo Escalon Buendía

Por su participación con la Presentación Oral

"DETERMINACIÓN DE ANTOCIANINAS, POLIFENÓLES TOTALES, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y NIVEL DE AGRADO EN CERVEZAS ARTESANALES ELABORADAS CON MAÍZ ROJO"

en el XVI Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería,
realizado del 21 al 26 de Junio de 2015, en Guadalajara, Jalisco, México.

Dr. Cristóbal Noé Aguilar González
Presidente de la SMBB

Dr. Carlos Regalado González
Presidente del Comité Organizador

Dr. José Adolfo Escalante Lozada
Presidente del Comité Científico