



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

---

*Unidad Iztapalapa*

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA

**Caracterización de cervezas de malta de maíz y de cebada basadas en su perfil sensorial, compuestos volátiles y capacidad antioxidante.**

**T E S I S**

Para obtener el grado de  
**Maestra en Biotecnología**

**P R E S E N T A**

**I.A. María Angélica Romero Medina**

Director

**Dr. Héctor B. Escalona Buendía**

Asesores

**Dr. José Ramón Verde Calvo**

**Dr. Alberto Castillo Morales**

Septiembre 2013

La Maestría en Biotecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana está incluida en el Padrón Nacional de Posgrado del CONACyT y además cuenta con apoyo del mismo Consejo, con el No. De Registro 0471-0.

México, D.F. a 13 de septiembre del 2013

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

**Caracterización de cervezas de malta de maíz y de cebada basadas en su perfil sensorial, compuestos volátiles y capacidad antioxidante.**

Que presentó:

María Angélica Romero Medina

***Comité Tutorial***

Director: Dr. Héctor B. Escalona Buendía  
*Universidad Autónoma Metropolitana*

Asesor: Dr. José Ramón Verde Calvo  
*Universidad Autónoma Metropolitana*

Asesor: Dr. Alberto Castillo Morales  
*Universidad Autónoma Metropolitana*

***Comité de evaluación***

Presidente: Dr. José Ramón Verde Calvo \_\_\_\_\_

Secretario: Dr. Alberto Castillo Morales \_\_\_\_\_

Vocal: Dra. Patricia Severiano Pérez \_\_\_\_\_

Vocal: Mtra. Frida Pura Malpica Sánchez \_\_\_\_\_

***AGRADECIMIENTO ESPECIAL.***

Gracias al ICyTDF por el financiamiento del proyecto (Proyecto 250/2010).

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero quiero agradecer al Dr. Héctor director de esta tesis, por dejarme ser su alumna, por confiar en mí, por enseñarme cada día, por la paciencia, por las pláticas y por ser más que un maestro ser como un “papá”, Gracias por todo.

A mis asesores el Dr. Ramón y Dr. Alberto por todo su tiempo, por sus enseñanzas, su paciencia y apoyo.

A la Dra. Patricia y la Mtra. Frida por sus valiosos comentarios y el tiempo para la revisión de este documento.

A mi mamá Yolanda por su amor, por apoyarme incondicionalmente en cada proyecto de mi vida y siempre darme ánimos para seguir adelante, esta meta alcanzada también es tuya, te amo ma.

A mi sis Alejandra (“Rolos”) por todas las temporadas vistas y en especial por las cenitas, gracias por siempre estar ahí, te quiero hermana-hermana.

A mi papá Armando por siempre estar cuando lo necesito, confiar en mí y en cada proyecto que emprendo. Te quiero pa.

A Luis Daniel por estar conmigo, aguantar mis “ligeros cambios de humor”, por ayudarme y apoyarme en todo lo que hago y enseñarme cosas nuevas, por ser el “asistente” del laboratorio de sensorial siempre que necesitábamos. Gracias amor. Love U!

A Lía por hacer que mi “tarea” sea más divertida y por hacerme reír tanto, te quiero Li (a ti también May).

A toda mi familia porque de alguna forma me han apoyado a sacar esto adelante.

A Pili por ser mi amiga y “hermana”, gracias por escucharme, por compartir las crisis estadístico-sensoriales, por el apoyo con el bullying sensorial (jejeje), pero en especial por los viajecitos, las comiditas y las pláticas, espero seguir compartiendo esta experiencia contigo.

Y a todos los que han contribuido con este proyecto, a Nataly por la elaboración de las cervezas y los nuevos proyectos, Josefa gracias por la ayuda en el cromatógrafo y demás métodos, a Ruth porque cada que nos veíamos moríamos de risa.

A mis jueces sensoriales: José Daniel, Lucía C y Lucía Hdz, Gerardo, Cintia, Israel, Cristina, Ruth, Oscar, Rocío, Guadalupe, Pilar, Erika, Luis Daniel, Edgar, Ulises, gracias por su tiempo ya que esto simplemente no se hubiera podido realizar sin su presencia.

Finalmente quiero agradecer al CONACyT por el otorgamiento de la beca durante la Maestría (2011-2013) y a la Universidad Autónoma Metropolitana por abrirme las puertas de su CASA.

**Quiero dedicar este trabajo:**

*A la memoria de mi abuelita Coco, por ser un ejemplo de fortaleza  
y cuidarme desde donde sea que se encuentre.*

*“There is more to life than beer alone, but beer makes those other things even better”*

*Stephen Morris*

## RESUMEN

En México, el desarrollo de cervezas artesanales se ha dado desde hace pocos años, este tipo de cervezas son elaboradas con diferente materia prima con el fin de generar nuevos aromas y sabores.

El maíz es un cereal originario de México, muy importante en la cultura mexicana, un gran número de bebidas fermentadas tradicionales han sido elaboradas por diversas poblaciones indígenas de nuestro país. Además, existen estudios que han demostrado que algunas variedades de maíz son ricas en antocianinas y compuestos fenólicos, haciendo de este cereal una fuente importante de antioxidantes con beneficios a la salud y efectos nutraceuticos.

Las cervezas elaboradas 100% con malta de maíz y otros ingredientes relacionados al Sendeché (una bebida prehispánica fermentada con maíz malteado de baja graduación alcohólica) se analizaron y se compararon con otras cervezas artesanales de cebada.

El uso del maíz como materia prima principal en la elaboración de cervezas tiene una gran influencia en los compuestos aromáticos así como en su capacidad antioxidante. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue la caracterización de las cervezas artesanales de maíz y cervezas de cebada, evaluando su perfil sensorial, los compuestos volátiles y su carácter antioxidante.

La evaluación sensorial se llevó a cabo por medio del Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA), el cual permitió obtener un vocabulario para la apariencia, olor, sabor y consistencia. Los descriptores obtenidos son posibles indicadores de calidad para la caracterización de las propiedades sensoriales de las cervezas artesanales y la nueva cerveza de maíz y se pueden utilizar en el desarrollo y estandarización de las cervezas de malta de maíz.

Los compuestos volátiles fueron extraídos mediante HS/SPME, se identificaron con GC/MS y se cuantificaron por medio de GC/FID, los principales compuestos encontrados fueron ésteres y alcoholes los cuales confieren el sabor y olor específicos de estas cervezas.

El contenido total de antocianinas fue medido por medio del método diferencial de pH, el carácter antioxidante se cuantificó a través del contenido de fenoles solubles totales, y la actividad antioxidante se determinó basándose en la medición del radical libre DPPH. Los resultados muestran que la capacidad antioxidante se incrementó en las cervezas elaboradas con diferentes variedades de maíz.

Las cervezas se caracterizaron utilizando quimiometría, y se mostró la diferencia debido a la materia prima utilizada en su proceso de elaboración.

## ABSTRACT

Handcraft beers have been developed in Mexico since few years ago, this kind of beers are made with different raw materials in order to generate new flavors.

Corn, a cereal which has its origins in Mexico, is very important in mexican culture and a number of traditional fermented beverages base on corn were developed by indigenous populations of Mexico. Moreover, several studies have shown that some varieties of corn are rich in anthocyanins and polyphenolic compounds, making this kernel an important source of antioxidants with health benefits and nutraceutical effects.

A new beer prepared using 100% corn malt and some other ingredients related to Sendeché (a fermented prehispanic beverage made with malt corn with low alcoholic graduation) were analyzed and compared with some handcraft barley beers.

Using corn as a principal raw material in brewing process has an influence in aromatic compounds and also in antioxidant capacity. Therefore the objective of this study was characterized this new corn beer and other handcraft ale beers, evaluating its sensory profile, volatile compounds and antioxidant character.

Sensory evaluation was performed by Quantitative Descriptive Analysis method (QDA), which enabled to obtain a vocabulary of appearance, odor, flavor and consistency. The descriptors obtained are potential quality indicators for the characterization of the sensory properties of the handcraft beers and the new corn beers and can be used on the developing and standardization of the corn malt beers.

Volatile compounds were extracted by HS/SPME, identified with GC/MS and quantified by GC/FID the volatiles mainly founded were esters and alcohols which provide the specific flavor and taste to these beers.

Total anthocyanin content was measured by pH differential method, antioxidant character was measured by total soluble phenolic content, and total antioxidant activity was assessed based on the scavenging activity of the stable DPPH free radical. The results showed that antioxidant capacity of the beers made with different varieties of corn was evidently improved.

The beers were characterized using chemometrics, and it was showed the difference due to the principal raw materials used in their elaboration process.

## INDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>III</b>
<b>CAPITULO 1 .....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>1. ANTECEDENTES .....</b>	<b>- 1 -</b>
1.1. LAS BEBIDAS FERMENTADAS.....	- 1 -
1.2. LA CERVEZA EN MÉXICO.....	- 2 -
1.3. ANÁLISIS DE LA CERVEZA .....	- 2 -
<b>CAPITULO 2 .....</b>	<b>- 5 -</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>- 5 -</b>
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>- 6 -</b>
<b>3. HIPÓTESIS .....</b>	<b>- 6 -</b>
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>- 7 -</b>
<b>4. OBJETIVOS.....</b>	<b>- 7 -</b>
4.1. OBJETIVO GENERAL .....	- 7 -
4.2. OBJETIVOS PARTICULARES.....	- 7 -
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>- 8 -</b>
<b>5. FUNDAMENTOS.....</b>	<b>- 8 -</b>
5.1. ¿QUÉ ES UNA CERVEZA?.....	- 8 -
5.2. ¿QUÉ ES UNA CERVEZA ARTESANAL?.....	- 8 -
5.3. ESTILOS DE CERVEZA.....	- 8 -
5.4. DESARROLLO, PRODUCCIÓN Y CONSUMO NACIONAL.....	- 9 -
5.5. PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA CERVEZA .....	- 11 -
5.5.1. Malteado .....	- 11 -
5.5.2. Molido .....	- 13 -
5.5.3. Maceración .....	- 13 -
5.5.4. Hervido y lupulado.....	- 16 -
5.5.5. Fermentación .....	- 17 -

5.5.6. Maduración .....	- 18 -
5.5.7. Clarificación, filtración y pasteurización .....	- 19 -
5.5.8. Empaque y almacenamiento .....	- 19 -
5.6. PROPIEDADES SENSORIALES DE LA CERVEZA .....	- 20 -
5.7. ¿QUÉ ES EL ANÁLISIS SENSORIAL? .....	- 22 -
5.7.1. Pruebas descriptivas .....	- 23 -
5.7.2. Tipos de pruebas descriptivas .....	- 23 -
5.7.3. Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA).....	- 24 -
5.7.4. Pasos del QDA.....	- 24 -
5.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA EVALUACIÓN DE LOS DATOS SENSORIALES .....	- 27 -
5.9. MÉTODOS INSTRUMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS VOLÁTILES EN CERVEZA.....	- 28 -
5.9.1. ¿Qué es la cromatografía de gases? .....	- 29 -
5.9.2. Extracción del espacio de cabeza (HS).....	- 30 -
5.9.3. Micro-extracción en fase sólida (SPME).....	- 30 -
5.9.4. Micro-extracción de fase sólida- espacio de cabeza (HS-SPME) .....	- 31 -
5.9.5. Micro-extracción en fase sólida- espacio de cabeza acoplado a la cromatografía de gases /espectrómetro de masas (HS-SPME- GC/MS) .....	- 31 -
5.9.6. Estudios realizados en cervezas para la determinación de compuestos volátiles mediante GC/ MS empleando el método de HS/SPME.....	- 32 -
5.10. ¿QUÉ SON LOS COMPUESTOS VOLÁTILES? .....	- 33 -
5.10.1. Compuestos volátiles en la cerveza .....	- 33 -
5.10.2. Etanol y alcoholes superiores .....	- 34 -
5.10.3. Ésteres .....	- 35 -
5.10.4. Diketonas vecinales.....	- 37 -
5.10.5. Compuestos azufrados.....	- 38 -
5.10.6. Compuestos que provienen del lúpulo.....	- 39 -
5.11. COMPONENTES DE LA CERVEZA CON VALOR NUTRACÉUTICO .....	- 41 -
5.11.1. ¿Qué son los compuestos antioxidantes? .....	- 42 -
5.11.2. Compuestos fenólicos .....	- 42 -
5.11.3. Antocianinas.....	- 43 -
5.12. MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS SENSORIALES E INSTRUMENTALES .....	- 44 -
5.12.1. Análisis de Varianza (ANOVA) .....	- 44 -
5.12.2. Métodos Estadísticos Multivariados.....	- 45 -
5.12.3. Análisis de Componentes Principales (PCA) .....	- 45 -
5.12.4. Análisis Procrustes Generalizado (GPA) .....	- 46 -
5.12.5. Análisis factorial múltiple (MFA).....	- 47 -
<b>CAPITULO 6 .....</b>	<b>- 49 -</b>
<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>- 49 -</b>

6.1. MATERIAL EXPERIMENTAL.....	- 49 -
6.2. METODOLOGÍA SENSORIAL.....	- 51 -
6.2.1. Selección del Panel Sensorial.....	- 52 -
6.2.2. Presentación de las muestras.....	- 52 -
6.2.3. Generación de atributos descriptivos.....	- 53 -
6.2.4. Entrenamiento.....	- 54 -
6.2.5. Selección de atributos representativos.....	- 56 -
6.2.6. Análisis de panel.....	- 57 -
6.2.7. Evaluación de productos.....	- 59 -
6.2.8. Expresión de los datos numérica y gráficamente.....	- 59 -
6.3. MEDICIONES INSTRUMENTALES.....	- 60 -
6.3.1. Análisis de los compuestos volátiles por cromatografía de gases.....	- 60 -
6.3.2. Antocianinas totales.....	- 62 -
6.3.3. Compuestos fenólicos totales.....	- 64 -
6.3.4. Capacidad antioxidante.....	- 65 -

## **CAPITULO 7..... - 67 -**

<b>7. DISCUSIÓN Y RESULTADOS.....</b>	<b>- 67 -</b>
7.1 ANÁLISIS SENSORIAL DE CERVEZAS DE CEBADA Y DE MAÍZ.....	- 67 -
7.1.1 Selección del panel sensorial.....	- 67 -
7.1.2 Generación de atributos descriptivos.....	- 67 -
7.1.3 Entrenamiento.....	- 69 -
7.1.4 Re-Selección de atributos representativos.....	- 79 -
7.1.5 Análisis de panel.....	- 82 -
7.1.6 Evaluación de cervezas de malta de cebada y de malta de maíz.....	- 83 -
7.1.7 Perfiles descriptivos cuantitativos de las cervezas de maíz y cebada.....	- 92 -
7.1.8 Resultados de la medición de color con la guía SRM.....	- 95 -
7.1.9 Ficha de estilo de cervezas de maíz.....	- 96 -
7.2. MEDICIONES INSTRUMENTALES.....	- 96 -
7.2.1. Mediciones cromatográficas: Identificación de los compuestos volátiles por GC/MS.....	- 96 -
7.2.2. Mediciones cromatográficas: Cuantificación de los compuestos volátiles mediante HS/SPME- GC-FID.....	- 99 -
7.2.3. Correlación de compuestos volátiles y atributos sensoriales por medio del análisis factorial múltiple (MFA).....	- 104 -
7.2.4. Antocianinas totales.....	- 107 -
7.2.5. Polifenoles totales.....	- 110 -
7.2.6. Capacidad antioxidante.....	- 112 -
7.2.7. PCA para antocianinas totales, polifenoles totales y capacidad antioxidante.....	- 116 -
7.2.8. Correlación de composición antioxidante, compuestos volátiles y atributos sensoriales por medio del análisis factorial múltiple (MFA).....	- 117 -

**CONCLUSIONES.....- 120 -**

**ANEXOS .....- 121 -**

ANEXO 1. CUESTIONARIO PARA DESARROLLO DE VOCABULARIO DE CERVEZAS DE CEBADA Y DE MAÍZ. .... - 121 -

ANEXO 2. GUÍA DE COLOR DE LA SRM ..... - 123 -

ANEXO 3. IMÁGENES DE REFERENCIA DE LOS ATRIBUTOS ESPUMA, GASIFICACIÓN Y TURBIDEZ.....- 124 -

ANEXO 4. EJEMPLO DE HOJA DE RESPUESTA PARA CUANTIFICACIÓN DE ATRIBUTOS. .... - 125 -

ANEXO 5. DESCRIPTORES GENERADOS PARA CERVEZAS DE MAÍZ. .... - 126 -

ANEXO 6. DESCRIPTORES GENERADOS PARA CERVEZAS DE CEBADA. .... - 127 -

ANEXO 7. DEFINICIONES DE LOS DESCRIPTORES GENERADOS DURANTE CONSENSO DE LAS CERVEZAS DE MAÍZ. .... - 128 -

ANEXO 8. RESULTADOS DE LA MEDIA GEOMÉTRICA PARA LA RE-SELECCIÓN DE DESCRIPTORES ....- 129 -

ANEXO 9. ANÁLISIS DE PANEL. .... - 130 -

ANEXO 10. ÁREAS DE LOS COMPUESTOS VOLÁTILES OBTENIDOS POR SPME/GC/MS..... - 137 -

ANEXO 11. CROMATOGRAMAS OBTENIDOS POR GC/MS ..... - 138 -

ANEXO 12. CURVAS DE CALIBRACIÓN DE LOS COMPUESTOS VOLÁTILES OBTENIDOS POR HS/SPME GC-FID ..... - 140 -

**BIBLIOGRAFÍA.....- 141 -**

**PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS.....- 146 -**

# Í N D I C E D E T A B L A S

TABLA 5.1 DESARROLLO HISTÓRICO DE LA ELABORACIÓN DE CERVEZA EN MÉXICO (CANICERM, 2011) ...	- 9 -
TABLA 5.2. VARIEDADES DE LÚPULO .....	- 17 -
TABLA 5.3. ESTUDIOS REALIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS VOLÁTILES EN CERVEZA. ...	- 32 -
TABLA 5.4. PRINCIPALES ALCOHOLES ENCONTRADOS EN LA CERVEZA Y SU CONCENTRACIÓN (mg/L) .....	- 35 -
TABLA 5.5. PRINCIPALES ÉSTERES ENCONTRADOS EN LA CERVEZA Y SU CONCENTRACIÓN (mg/L) .....	- 36 -
TABLA 5.6. PRINCIPALES DICETONAS ENCONTRADAS EN LA CERVEZA .....	- 37 -
TABLA 5.7. PRINCIPALES COMPUESTOS AZUFRADOS ENCONTRADOS EN LA CERVEZA.....	- 38 -
TABLA 5.8. PRINCIPALES COMPUESTOS PROVENIENTES DEL LÚPULO ENCONTRADOS EN LA CERVEZA .....	- 41 -
TABLA 6.1. ESTILOS DE CERVEZAS. ....	- 49 -
TABLA 6.2. REFERENCIAS EMPLEADOS PARA LA ETAPA DE ENTRENAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LAS CERVEZAS DE MALTA DE MAÍZ Y CEBADA.....	- 55 -
TABLA 6.3. CONDICIONES CROMATOGRÁFICAS (GC/MS/FID) .....	- 61 -
TABLA 7.1. CERVEZAS DE MAÍZ ANALIZADAS PARA LA GENERACIÓN DE ATRIBUTOS .....	- 67 -
TABLA 7.2. DESCRIPCIÓN DE LA CARTA DE COLOR DE LA SRM.....	- 69 -
TABLA 7.3. ANOVA PARA DESCRIPTORES DE CERVEZA DE MALTA DE MAÍZ ( $\alpha < 0.05$ ) .....	- 70 -
TABLA 7.4. ATRIBUTOS SIGNIFICATIVOS PARA LA DIFERENCIACIÓN DE LAS CERVEZAS DE MALTA DE MAÍZ ( $\alpha < 0.05$ ).....	- 73 -
TABLA 7.5. ANOVA PARA DESCRIPTORES DE CERVEZA DE MALTA DE CEBADA ( $\alpha < 0.05$ ).....	- 74 -
TABLA 7.6. ATRIBUTOS SIGNIFICATIVOS PARA LA DIFERENCIACIÓN DE LAS CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA ( $\alpha < 0.05$ ).....	- 78 -
TABLA 7.7. DESCRIPTORES DESCARTADOS POR MEDIA GEOMÉTRICA Y PORCENTAJE ACUMULADO $< 10\%$ ...	- 79 -
TABLA 7.8. DEFINICIÓN DE LOS DESCRIPTORES ACORDADOS POR EL PANEL PARA LA EVALUACIÓN FINAL DE LOS PRODUCTOS .....	- 80 -
TABLA 7.9. ANOVA POR DESCRIPTOR PARA CERVEZAS DE MALTA DE MAÍZ Y CEBADA ( $\alpha < 0.05$ ).....	- 83 -
TABLA 7.10. ATRIBUTOS SIGNIFICATIVOS PARA LA DIFERENCIACIÓN DE LAS CERVEZAS DE MALTA DE MAÍZ Y MALTA DE CEBADA ( $\alpha < 0.05$ ).....	- 91 -
TABLA 7.11. MEDICIÓN DE COLOR DE LAS CERVEZAS DE MAÍZ Y CEBADA MEDIANTE LA GUÍA SRM. ....	- 95 -
TABLA 7.12. FICHA DE ESTILO DE LAS CERVEZAS DE MAÍZ .....	- 96 -
TABLA 7.13. COMPUESTOS IDENTIFICADOS POR SPME/GC/MS .....	- 97 -
TABLA 7.14. CONCENTRACIÓN EN mg/L DE LOS COMPUESTOS VOLÁTILES OBTENIDOS POR GC-FID.....	- 100 -
TABLA 7.15. ANOVA POR COMPUESTO VOLÁTIL PARA CERVEZAS DE MAÍZ Y DE CEBADA .....	- 101 -
TABLA 7.16. COMPUESTOS VOLÁTILES SIGNIFICATIVOS PARA LA DIFERENCIACIÓN DE LAS CERVEZAS DE MALTA DE MAÍZ Y MALTA DE CEBADA ( $\alpha < 0.05$ ), OBTENIDOS POR HS/SPME GC-FID. ....	- 103 -
TABLA 7.17. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN RV DE COMPUESTOS VOLÁTILES CON DESCRIPTORES SENSORIALES .....	- 104 -
TABLA 7.18. CONTENIDO DE ANTOCIANINAS TOTALES CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y DE MAÍZ .....	- 107 -
TABLA 7.19. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CANTIDAD DE ANTOCIANINAS TOTALES PARA CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y MAÍZ.....	- 108 -
TABLA 7.20. GRUPOS OBTENIDOS DE ACUERDO AL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS TOTALES POR MEDIO DE LA PRUEBA DE TUKEY .....	- 109 -
TABLA 7.21. CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES EN CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y DE MAÍZ .....	- 110 -
TABLA 7.22. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CANTIDAD DE POLIFENOLES TOTALES PARA CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y MAÍZ.....	- 111 -

TABLA 7.23. GRUPOS OBTENIDOS DE ACUERDO EL CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES POR MEDIO DE LA PRUEBA DE TUKEY .....	- 111 -
TABLA 7.24. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y PORCENTAJE DE INHIBICIÓN PROMEDIO DE CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y DE MAÍZ.....	- 113 -
TABLA 7.25. ANÁLISIS DE VARIANZA DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE PARA CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y MAÍZ .....	- 114 -
TABLA 7.26. GRUPOS OBTENIDOS DE ACUERDO A LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR MEDIO DE LA PRUEBA DE TUKEY.....	- 114 -
TABLA 7.27. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN RV DE COMPOSICIÓN ANTIOXIDANTES, VOLÁTILES Y ATRIBUTOS SENSORIALES.....	- 117 -
TABLA A5.1. DESCRIPTORES GENERADOS DURANTE EL ENTRENAMIENTO PARA CERVEZAS DE MALTA DE MAÍZ.....	- 126 -
TABLA A6.1. DESCRIPTORES GENERADOS DURANTE EL ENTRENAMIENTO PARA CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA .....	- 127 -
TABLA A7.1. VOCABULARIO DE LOS DESCRIPTORES GENERADOS DURANTE EL ENTRENAMIENTO PARA CERVEZAS DE MALTA DE MAÍZ Y CEBADA.....	- 128 -
TABLA A9.1. ANÁLISIS DE VARIANZA POR JUEZ PARA CADA DESCRIPTOR SENSORIAL .....	- 132 -
TABLA A9.2. DISTANCIA AL CONSENSO CALCULADA SOBRE TODOS LOS DESCRIPTORES.....	- 133 -
TABLA A10.1. ÁREAS DE LOS COMPUESTOS VOLÁTILES OBTENIDOS POR SPME/GC/MS.....	- 137 -
TABLA A12.1. CURVAS DE CALIBRACIÓN PARA LOS COMPUESTOS VOLÁTILES OBTENIDOS POR HS/SPME- GC-FID-	- 140 -

# Í N D I C E D E F I G U R A S Y G R Á F I C A S

FIGURA 1.1. RUEDA DEL AROMA DE LA CERVEZA DE MEILGAARD. ....	- 3 -
FIGURA 5.1. DIAGRAMA DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA CERVEZA .....	- 11 -
FIGURA 5.2. CONVERSIÓN DEL ALMIDÓN POR MEDIO DE ENZIMAS ALFA Y BETA AMILASAS.....	- 15 -
FIGURA 5.3. EJEMPLO DE ESCALA NO ESTRUCTURADA .....	- 26 -
FIGURA 5.4. EJEMPLO DE UN DIAGRAMA DE RADAR O “TELARAÑA” .....	- 27 -
FIGURA 5.5 HS-SPME.....	- 31 -
FIGURA 5.6. FORMACIÓN DE ETANOL .....	- 34 -
FIGURA 5.7. FORMACIÓN DE ÉSTER .....	- 36 -
FIGURA 6.1. ETAPA DE GENERACIÓN DE ATRIBUTOS Y CONSENSO .....	- 54 -
FIGURA 6.2. ETAPA DE ENTRENAMIENTO CON REFERENCIAS .....	- 58 -
FIGURA 6.3. ETAPA DE EVALUACIÓN .....	- 59 -
FIGURA 6.4. TRANSFORMACIONES ESTRUCTURALES DE LAS ANTOCIANINAS CON EL CAMBIO DE PH.....	- 63 -
FIGURA 6.5 REACCIÓN DEL RADICAL DPPH .....	- 65 -
FIGURA 6.6. DPPH COMO RADICAL LIBRE (A) Y EN SU FORMA REDUCIDA (B).....	- 66 -
GRÁFICA 7.1. GRÁFICA DE SCORES DE LOS PRIMEROS COMPONENTES PRINCIPALES (63.20%) CERVEZAS DE MALTA DE MAÍZ .....	- 71 -
GRÁFICA 7.2. GRÁFICA DE LOADINGS Y SCORES DE LOS PRIMEROS COMPONENTES PRINCIPALES (63.2%), CERVEZAS DE MALTA DE MAÍZ.....	- 72 -
GRÁFICA 7.3. GRÁFICA DE SCORES DE LOS PRIMEROS COMPONENTES PROCRUSTES (43.8%), .....	- 76 -
CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA .....	- 76 -
GRÁFICA 7.4. GRÁFICA DE LOADINGS Y SCORES DE LOS PRIMEROS COMPONENTES PROCRUSTES, CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA .....	- 77 -
GRÁFICA 7.5. SUMA DE CUADRADOS DE LOS RESIDUOS POR PRODUCTO TRAS LAS TRANSFORMACIONES GPA- 85	- 85 -
-	
GRÁFICA 7.6. SUMA DE CUADRADOS DE LOS RESIDUOS POR JUEZ TRAS LAS TRANSFORMACIONES GPA .....	- 85 -
GRÁFICA 7.7. FACTORES DE RE-ESCALACIÓN PARA CADA JUEZ .....	- 86 -
GRÁFICA 7.8. GRÁFICA DE SCORES DE LOS PRIMEROS COMPONENTES PROCRUSTES (46.16%).....	- 87 -
GRÁFICA 7.9. GRÁFICA DE SCORES Y LOADINGS DE LOS PRIMEROS COMPONENTES PRINCIPALES (46.16%) DE CERVEZAS DE MAÍZ Y CEBADA .....	- 88 -
GRÁFICA 7.10. GRÁFICAS DE PERFILES DESCRIPTIVOS CUANTITATIVOS DE CERVEZAS DE MAÍZ Y CEBADA ...	- 92 -
GRÁFICA 7.11. GRÁFICA DE LOADINGS Y SCORES DE LOS PRIMEROS COMPONENTES PRINCIPALES (66.95%) COMPUESTOS VOLÁTILES OBTENIDOS POR GC/MS.....	- 98 -
GRÁFICA 7.12. GRÁFICA DE LOADINGS Y SCORES DE LOS PRIMEROS COMPONENTES PRINCIPALES (61%) DE LOS COMPUESTOS VOLÁTILES OBTENIDOS POR HS/SPME- GC-FID.....	- 102 -
GRÁFICA 7.13. GRÁFICA DE SCORES Y LOADINGS (MFA) PARA ATRIBUTOS SENSORIALES Y 11 COMPUESTOS VOLÁTILES EN LAS CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y DE MAÍZ. ....	- 105 -
GRÁFICA 7.14. CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES SENSORIALES Y DE COMPUESTOS VOLÁTILES .....	- 106 -
GRÁFICA 7.15. CONTENIDO DE ANTOCIANINAS TOTALES EN CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y DE MAÍZ ...	- 108 -
GRÁFICA 7.16. CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES EN CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y DE MAÍZ....	- 110 -
GRÁFICA 7.17. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y DE MAÍZ.....	- 113 -
GRÁFICA 7.18. PORCENTAJE DE INHIBICIÓN PROMEDIO DE LAS CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y DE MAÍZ-	- 115 -
-	

GRÁFICA 7.19. GRÁFICA DE SCORES DE LOS PRIMEROS COMPONENTES PRINCIPALES (99.29%), PARA ANTOCIANINAS, POLIFENOLES TOTALES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y DE MAÍZ.....	- 116 -
GRÁFICA 7.20. GRÁFICA DE LOADINGS Y SCORES DE LOS PRIMEROS COMPONENTES PRINCIPALES (99.29%), PARA ANTOCIANINAS, POLIFENOLES TOTALES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y DE MAÍZ .....	- 116 -
GRÁFICA 7.21. GRÁFICA DE SOCRES Y LOADINGS (MFA) PARA ATRIBUTOS SENSORIALES,11 COMPUESTOS VOLÁTILES Y PERFIL ANTIOXIDANTE EN LAS CERVEZAS DE CEBADA Y DE MAÍZ. ....	- 118 -
GRÁFICA 7.22. CORRELACIÓN DEL ANÁLISIS SENSORIAL, COMPOSICIÓN VOLÁTIL Y PERFIL DE ANTIOXIDANTES PARA CERVEZAS DE CEBADA Y DE MAÍZ. ....	- 119 -
GRÁFICA A9.1. PORCENTAJE DE ATRIBUTOS CON PODER DISCRIMINATORIO PARA CADA JUEZ AL INICIO DEL ENTRENAMIENTO .....	- 130 -
GRÁFICA A9.2. PORCENTAJE DE ATRIBUTOS CON PODER DISCRIMINATORIO PARA CADA JUEZ AL TÉRMINO DEL ENTRENAMIENTO .....	- 130 -
GRÁFICA A9.3. DISTANCIA AL CONSENSO DEL JUEZ 14.....	- 134 -
GRÁFICA A9.4. COMPARACIÓN DEL JUEZ 14 PARA EL PRODUCTO “TRE”.....	- 135 -
GRÁFICA A9.5. DISTANCIA AL CONSENSO DEL JUEZ 6.....	- 136 -
GRÁFICA A9.6. COMPARACIÓN DEL JUEZ 6 PARA EL PRODUCTO “TRE”.....	- 136 -
FIGURA A11.2. CROMATOGRAMA DE MRCHL .....	- 138 -
FIGURA A11.3. CROMATOGRAMA DE MOS R.....	- 138 -
FIGURA A11.4. CROMATOGRAMA DE MOS R.....	- 138 -
FIGURA A11.1. CROMATOGRAMA DE MACHL .....	- 138 -
FIGURA A11.5. CROMATOGRAMA DE MV .....	- 138 -
FIGURA A11.7. CROMATOGRAMA DE TD .....	- 139 -
FIGURA A11.6. CROMATOGRAMA DE TDM .....	- 139 -

# Í N D I C E D E

## A B R E V I A T U R A S

### A

AFNOR  
Asociación Francesa de  
Normalización.....- 57 -  
ANOVA  
Análisis de Varianza .....- 27 -

### B

BJCP  
Beer Judge Certification  
Program .....- 9 -

### C

CAR  
Carboxeno .....- 32 -

### D

DPPH  
Difenil-picril-hidrazilo.....- 65 -  
DVB  
Divenil Benceno .....- 32 -

### E

ECG  
Equivalentes de cianidina 3-  
glucósido .....- 43 -  
EMP  
Embden-Meyerhof-Parnes...-  
34 -

### F

FID  
Detector de Ionización de  
Flama .....- 29 -

### G

GC  
Cromatografía de Gases.- 4 -  
GS-MS  
Cromatografía de  
gases/Espectrometría de  
masas.....- 4 -

### H

HS  
Head-Space .....- 30 -

### I

IBU's  
Unidades Internacionales de  
Amargor .....- 9 -

### M

MACH  
Maíz Azul con Chile .....- 51 -  
MACHL  
Maíz Azul con Chile y Lúpulo  
.....- 51 -  
MAL  
Maíz Azul con Lúpulo....- 51 -  
MCC  
Minerva Colonial Clara..- 50 -  
MFA  
Análisis Factorial Múltiple- 46  
-  
MPA  
Minerva Pale Ale.....- 51 -  
MRCH  
Maíz Rojo con Chile.....- 51 -  
MRCHL  
Maíz Rojo con Chile y Lúpulo  
.....- 51 -

MRL  
Maíz Rojo con Lúpulo ...- 51 -  
MV  
Minerva Viena.....- 50 -

### P

PCA  
Análisis de Componentes  
Principales.....- 45 -  
PDMS  
Polidimetil Siloxano.....- 32 -

### Q

QDA  
Análisis Descriptivo  
Cuantitativo .....- 24 -

### S

SPME  
Microextracción en fase  
sólida.....- 30 -  
SRM  
Standard Reference Method -  
55 -

### T

TC  
Tempus Alt Clásica .....- 49 -  
TD  
Tempus Dorada .....- 49 -  
TDM  
Tempus Doble Malta.....- 49 -  
TRE  
Tempus Reserva Especial ...-  
50 -

# CAPITULO 1

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1. Las bebidas fermentadas

Las bebidas fermentadas se encuentran entre los aspectos más comunes de la vida humana, estas desempeñan un papel crucial en los ámbitos económico y político de todas las sociedades, tanto pasadas como presentes. La producción y el consumo de bebidas fermentadas es tan antigua como la primera civilización (Valdez, *et al.*, 2010) La fermentación alcohólica de cereales es un proceso ancestral practicado desde por lo menos el año 4000 a.C. De los distintos cereales empleados para la obtención de bebidas fermentadas, la cebada es la que ha dado origen al desarrollo de la industria cervecera (CANICERM, 2011). La cerveza es una bebida alcohólica cuya historia se ha ido desarrollando durante los últimos 5000-8000 años, data de épocas tan antiguas como la de los asirios y los egipcios (Hough, 1990). Esta bebida existía en la antigua Mesopotamia, en África, lejano Oriente y América. Cada pueblo elaboraba la bebida en base al cereal más disponible en cada región: cebada y trigo en Mesopotamia, mijo y sorgo en África, arroz en China y Japón y maíz en América (Valdez, *et al.*, 2010).

La cerveza es la bebida alcohólica compleja elaborada con la malta de la cebada, lúpulo, agua y levaduras, rica en nutrientes (carbohidratos, aminoácidos, minerales y vitaminas), así como compuestos “no nutritivos” como polifenoles y flavonoides.

En la búsqueda por encontrar un sabor diferente, así como un estilo de cerveza nuevo, nacen en algunos países, las cervezas artesanales.

La cerveza artesanal ha sido descrita como una bebida intelectual y auténtica la cual en cada vaso se muestra la creatividad y pasión de su creador y la complejidad de sus ingredientes. La cerveza artesanal es apreciada por millones de personas

amantes de la cerveza, que ven en ella más que una bebida fermentada, una bebida versátil y llena de sabor (Brewers Association, BA, 2010).

Hoy en día, para la elaboración de cervezas artesanales se están empleando una variedad y mezcla de ingredientes, tanto tradicionales como “no tradicionales”, además de hacer modificaciones al proceso de elaboración, con el fin de lograr nuevos aromas y sabores y por lo tanto, nuevos estilos de cerveza.

## 1.2. La cerveza en México

En México la elaboración de cerveza se inició durante la Colonia, sin embargo, desde tiempos anteriores a la llegada de Colón, los incas conocían el arte de maltear maíz, conocimiento que les permitía producir bebidas alcohólicas, como la chicha que era popular a la llegada de los españoles a América, esta bebida tiene una notable similitud con la elaboración de la cerveza (AMSDA, 2003).

En los últimos años, la cerveza ha empezado a ocupar un puesto de honor entre las bebidas de calidad.

## 1.3. Análisis de la cerveza

Para cualquier alimento o bebida, las características sensoriales son un parámetro a través del cual los consumidores evalúan un producto (Hughes, 2008). El conocimiento sobre el gusto y sabor de la cerveza ha sido obtenido a través de 2 enfoques: el químico y el sensorial (degustación). En los días cuando los métodos analíticos no existían, la degustación era el único método confiable para obtener buena calidad de la cerveza. En los últimos 200 años se han desarrollado métodos químicos para la medición de los principales constituyentes de la cerveza. Sin embargo, la relación entre la composición química y las características sensoriales han evolucionado hasta hace muy pocos años (Hughes, *et al.*, 2001).

En 1970 el Dr. Morten Meilgaard realizó una investigación con el fin de descubrir los elementos que conforman el aroma de la cerveza. Recaudó una lista de aproximadamente 850 compuestos reportados en la cerveza con la cual creó la Rueda del Aroma de la cerveza. La rueda es una forma de estandarizar un lenguaje a través del cual los catadores puedan correlacionar el aroma y sabor con una palabra (Yonezawa, *et al.*, 2001). Esta es usada como referencia por la “*European Brewery Convention*”, la “*American Society of Brewing Chemists*” y la “*Master Brewers Association of the Americas*”.

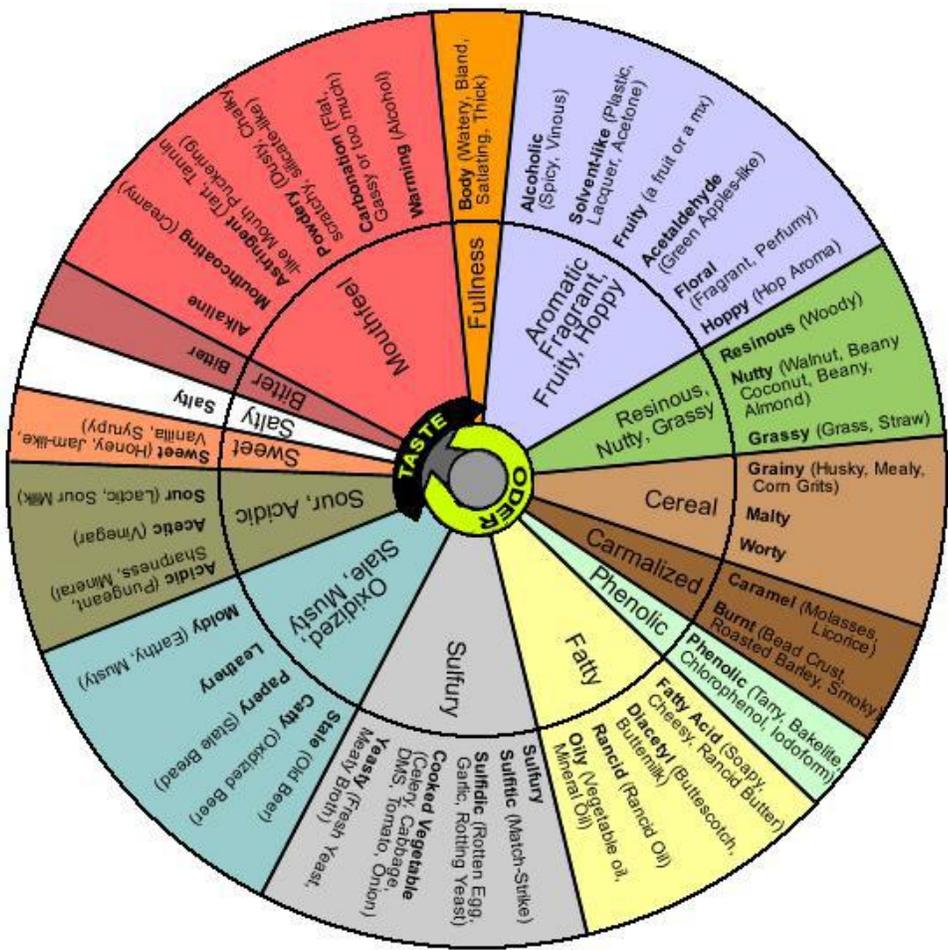


FIGURA 1.1. RUEDA DEL AROMA DE LA CERVEZA DE MEILGAARD.

Con respecto al análisis químico de la cerveza, se han desarrollado diferentes métodos para la determinación de los compuestos presentes en esta bebida, (Cortacero, *et al.*, 2003), en los últimos años, la caracterización aromática de diferentes tipos de cervezas, así como la evaluación de los compuestos volátiles ha tomado gran auge. Comúnmente la evaluación de los compuestos volátiles en la cerveza se ha realizado mediante técnicas de cromatografía de gases (GC). La cromatografía de gases acoplada al espectrómetro de masas (GS-MS) es una herramienta que permite identificar y cuantificar los compuestos volátiles de la cerveza.

Además de los compuestos que generan aromas, el análisis de las propiedades antioxidantes de la cerveza, ha demostrado que esta bebida también puede presentar efectos fisiológicos benéficos cuando se consume regularmente como parte de una dieta sana y equilibrada (Bamforth, 2002).

## CAPITULO 2

### 2. JUSTIFICACIÓN

En México, aún no existe producción a nivel industrial ni artesanal de cervezas elaboradas a base de maíz malteado, solo en algunas zonas rurales del país, aún se elaboran bebidas fermentadas a base de diferentes cereales como el maíz y el trigo. Por otro lado, recientemente ha habido un crecimiento importante en la industria microcervecera en México creando su propio nicho de consumidores.

Para elaborar nuevos tipos de cervezas, ya sea con cebada o con maíz malteado, es necesario conocer las características de las cervezas que las hacen atractivas al consumidor, por lo que la evaluación sensorial es una herramienta útil para medir los atributos de este tipo de bebidas.

Actualmente existen estudios sobre las propiedades sensoriales que caracterizan a las cervezas industriales, no existiendo los mismos para cervezas de tipo artesanal ni para cervezas de maíz. Con este estudio se pretende contribuir a la caracterización de este tipo de bebidas aportando un vocabulario específico con sus definiciones que complementa el vocabulario ya existente sobre cervezas (Rueda de Meilgaard).

El conocer los atributos de este tipo de bebidas, hará posible la generación de nuevos productos, la detección oportuna de problemas durante su producción, la corrección y mejora del producto; todo lo anterior con el fin de ofrecer al consumidor una bebida de alta calidad, detectando posibles defectos y manteniendo un perfil sensorial constante.

Además se promoverá el uso de otros cereales como el maíz, lo que contribuirá a reducir los costos de producción así como abarcar un nuevo mercado para personas con intolerancia al gluten.

Con el análisis químico de las cervezas llevado a cabo a través de técnicas como la cromatografía de gases, el análisis de los compuestos antioxidantes y su capacidad antioxidante, será posible caracterizar las cervezas artesanales usando quimiometría.

## CAPÍTULO 3

### 3. HIPÓTESIS

Debido a la diferencia en la composición de las cervezas de malta de maíz y malta de cebada será posible la caracterización de este tipo de bebidas basadas en sus diferencias sensoriales, así como en la composición de compuestos volátiles y antioxidantes, además el uso del maíz como materia prima principal puede conferirle propiedades nutracéuticas a esta bebida.

## CAPÍTULO 4

### 4. OBJETIVOS

#### 4.1. Objetivo general

Comparar cervezas elaboradas a partir de cebada malteada y cervezas de maíz malteado basadas en su perfil sensorial, composición volátil y capacidad antioxidante.

#### 4.2. Objetivos particulares

- Caracterizar las propiedades sensoriales de cervezas elaboradas a base de maíz malteado.
- Caracterizar las propiedades sensoriales de cervezas elaboradas a base de cebada malteada.
- Describir las diferencias de las dos bebidas utilizando términos sensoriales.
- Correlacionar los atributos sensoriales con los compuestos volátiles caracterizados durante el análisis cromatográfico.
- Caracterizar las cervezas artesanales elaboradas con malta de maíz y malta de cebada basadas en los compuestos volátiles, compuestos fenólicos y la actividad antioxidante usando quimiometría.

## CAPÍTULO 5

### 5. FUNDAMENTOS

#### 5.1. ¿Qué es una cerveza?

La cerveza es la bebida resultante de la fermentación alcohólica, mediante levadura seleccionada, de un mosto procedente de malta de cebada, solo o mezclado con otros productos amiláceos transformables en azúcares por digestión enzimática (malta de otros cereales, granos crudos que contengan féculas, así como azúcares), al cual se agrega lúpulo y/o sus derivados y se somete a un proceso de cocción (SE, 2011). Normalmente el término se refiere al producto elaborado a partir de malta de cebada con o sin adición de otros cereales no malteados.

#### 5.2. ¿Qué es una cerveza artesanal?

La principal diferencia entre una cerveza industrial y una artesanal radica en que en la artesanal está elaborada solo con los ingredientes tradicionales como lo son el agua, cereales malteados, lúpulo y levadura. A estas cervezas no se les agrega conservantes ni antioxidantes artificiales como el alginato de propilenglicol (E-405), usado para la espuma etcétera. (ACERMEX, 2012).

#### 5.3. Estilos de cerveza

El sabor y aroma de la cerveza son los factores que definen en estilo de una cerveza, su carácter “armónico” refleja el sabor general de la cerveza y se relaciona con diversos componentes que le confieren diferentes aromas y sabores. Una “buena”

cerveza requiere un equilibrio entre los aromas, gustos y sabores. Son muchos los componentes que tienen un impacto en el perfil sensorial de la cerveza, como los ácidos orgánicos, azúcares, ácidos del lúpulo, polifenoles, compuestos carbonilos entre otros (Liu, *et al.*, 2012).

Existen cientos de estilos de cerveza y estos han sido definidos por diversas organizaciones como *The Brewers Association*, que cuenta con una guía con 140 estilos organizada por país y región, *The Great American Beer Festival*, define 83 estilos con varias subcategorías, y *The Beer Judge Certification Program* (BJCP) cuya guía contiene 23 estilos.

Este tipo de guías definen varios estilos de cervezas tanto Ale como Lager, describiendo detalladamente sus características de aroma, sabor, amargor (Unidades Internacionales de Amargor IBU's), porcentaje de alcohol y rango de color (Brewers Association, BA, 2010).

Debido a que la producción de cerveza a nivel industrial ha crecido y se ha expandido al mundo de la cerveza artesanal generando una mayor diversidad de productos, el deseo de obtener mayor información acerca sobre estas bebidas crece al mismo ritmo.

#### 5.4. Desarrollo, producción y consumo nacional

El desarrollo histórico de la elaboración de cerveza en México se ha dado de la siguiente manera (Tabla 5.1):

**TABLA 5.1 DESARROLLO HISTÓRICO DE LA ELABORACIÓN DE CERVEZA EN MÉXICO (CANICERM, 2011)**

Evento	Año /Época
Elaboración de tesgüino y otras “cervezas de maíz”	México prehispánico
Alfonso de Herrera inicia la elaboración de cerveza Ale en la Nueva España	1544
Establecimiento de las primeras cerveceras (cervezas tipo Ale)	1825
Establecimiento de la cervecería de la Pila Seca con técnica suiza	1845
Establecimiento de la cervecería de la Candelaria. Utilizaba piloncillo como adjunto	1845
Establecimiento de la cervecería Toluca. Primera en elaborar cerveza tipo Lager	1880
Producción a gran escala:	

Cervecería Cuauhtémoc (Monterrey)	1890
Cervecería Moctezuma (Orizaba)	1894
Cervecería Chihuahua	1896
Cervecería del Pacífico	1900
Cervecería Yucateca	1900
Cervecería Modelo (Ciudad de México)	1925
Fusión de empresas	1935
Modelo adquiere la Compañía Cervecera de Toluca y México	1954
Modelo adquiere la Cervecería del Pacífico, y la Cervecería La Estrella	1960
Modelo adquiere la Cervecería Modelo del Noroeste, Sonora	1985
Se fusionan las Cervecerías Cuauhtémoc y Moctezuma	1993
La Cervecería Modelo firma convenio de inversión con Anheuser-Busch	1994
El grupo Cuauhtémoc-Moctezuma firma alianza con la canadiense John Labatt Limited	
Alianza entre Grupo Modelo y Constellation Brands para formar Crown Imports LLC.	2006
Intercambio del 100% de las operaciones de Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma por una participación accionaria del 20% de Heineken	2010

Mientras tanto, desde hace 15 años, en México han surgido varios pequeños productores de cerveza artesanal, conquistando poco a poco un mercado donde 70% de las bebidas alcohólicas que se consumen son cerveza. En los últimos 3 años, las marcas de cerveza artesanal, pasaron de ser 3 a 36 marcas registradas, y se calcula que hay más de 500 establecimientos en el país donde se expande cerveza artesanal.

En la actualidad, México ocupa el décimo lugar en consumo de cerveza, con un consumo nacional que aparentemente se ha mantenido en 62 litros de cerveza por persona al año, siendo los principales consumidores República Checa con 189 litros per cápita anual, seguido de Alemania con 131 litros, Inglaterra con 103, Estados Unidos con 85, España con 66, y Japón con 57 litros (CANICERM, 2011).

En México, el mercado de la cerveza artesanal significa un 0.3% del total, es decir, de los 7,000 millones de litros que se producen anualmente, 1 millón 800 mil litros los producen las cerveceras independientes (ACERMEX, 2012).

## 5.5. Proceso de elaboración de la cerveza

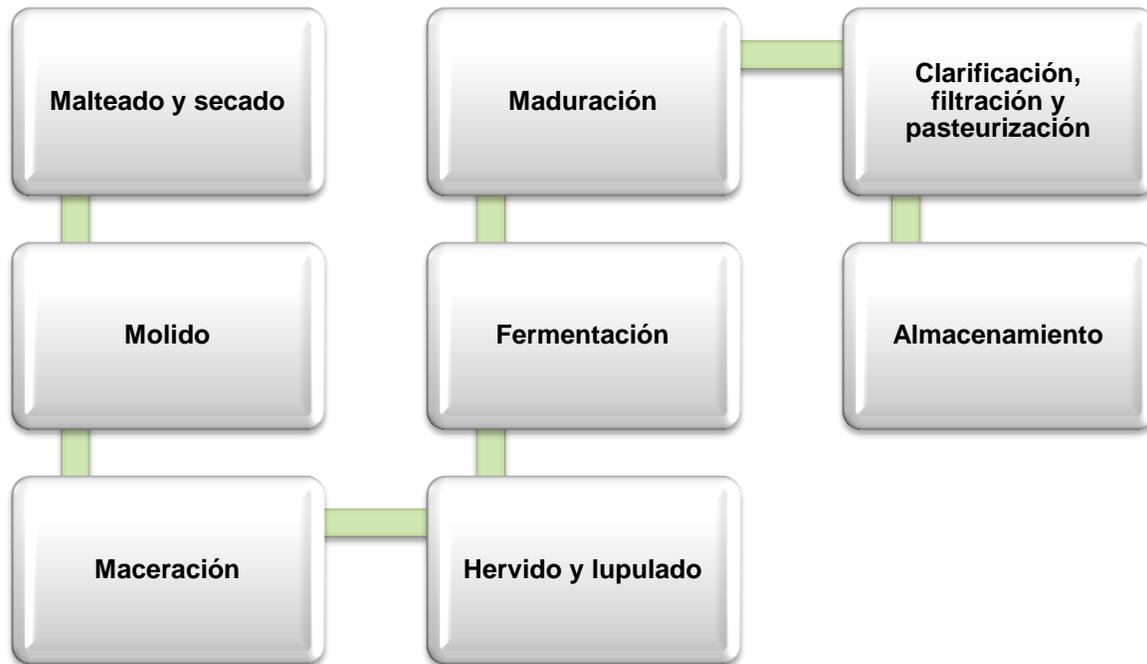


FIGURA 5.1. DIAGRAMA DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA CERVEZA

### 5.5.1. Malteado

Durante el proceso de elaboración de la cerveza cada una de las etapas contribuye en la generación de compuestos responsables de las características sensoriales, las cuales definen la calidad de cada producto.

El malteado es la primera etapa de la elaboración de la cerveza, esta etapa se caracteriza por llevar a cabo una germinación controlada del grano y se realiza en 3 pasos:

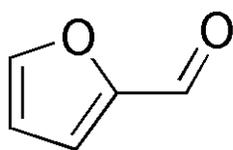
**Remojo:** el agua es absorbida por el grano, la respiración incrementa lentamente al principio y aumenta después, provocando que el grano acumule CO<sub>2</sub> y calor (Lewis, *et al.*, 1995). Para la respiración y crecimiento, los granos consumen parte de los carbohidratos, esto lo hacen por la vía de la glucólisis: Glucosa → Piruvato → CO<sub>2</sub> (Fix, 1999).

Conforme se van agotando los carbohidratos, el tejido del escutelo del grano, comienza a producir hormonas como el ácido giberelínico, el cual estimula la formación y activación de otras enzimas como las  $\alpha$  y  $\beta$ -amilasas, enzimas que degradan el almidón, enzimas citolíticas responsables de la degradación de la pared celular del grano como la  $\beta$ -glucanasa, enzimas que degradan las proteínas como proteinasas y peptidasas que se activan solo durante la maceración y fosfatasas que son necesarias para el control del pH tanto de la malta como de la maceración (Fix, 1999).

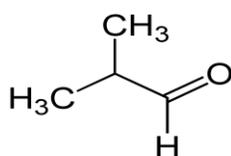
**Germinación:** esta comienza durante el remojo y continúa por 4-5 días, la temperatura y la humedad son controladas (Gruber, 2001). Se administra oxígeno para promover la respiración. En este paso se llevan a cabo modificaciones importantes en el grano, la primera modificación es la citólisis, las paredes de la célula del grano que están compuestas esencialmente de  $\beta$ -glucano son degradadas por la acción de enzimas hidrolíticas para que las enzimas encargadas de la degradación de los carbohidratos y proteínas puedan actuar. La segunda modificación es la degradación de proteínas, de 35 a 40% del total de proteínas son degradadas a compuestos solubles y por último los carbohidratos son degradados a azúcares más simples. Durante esta etapa de germinación se forman algunos compuestos azufrados como el dimetil-sulfuro, que tiene impacto sobre el sabor del producto final (Fix, 1999).

**Secado o tostado:** Esta etapa puede subdividirse en dos, la primera es el secado que se lleva a cabo a temperaturas relativamente bajas y la segunda es el tostado, en donde debido al aumento de la temperatura se forman los compuestos que le confieren el color a la malta. La humedad es removida del grano mediante el secado, hasta llegar a un 3-5% de humedad, es un paso crucial para la calidad de la malta ya

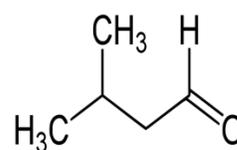
que en una malta con alto nivel de humedad se pueden detectar aromas a moho así como otros desagradables como pasto cortado, a humedad, y puede tener un efecto negativo en el sabor de la malta. Durante esta etapa se forman algunos compuestos que confieren sabor y color; su formación y concentración dependen del tiempo y temperatura a la que se sometan los granos. Estos compuestos son productos de las reacciones de Maillard que se forman por reacciones no enzimáticas a temperaturas por encima de los 100°C, algunos de estos productos son: furfural, isobutiraldehído, 3-metilbutanal y compuestos heterocíclicos como melanoidinas, pirroles y pirazinas (Fix, 1999).



a. Furfural



b. Isobutiraldehído



c. 3-metilbutanal

### 5.5.2. Molido

La molienda tiene por objeto triturar la malta. Durante esta etapa los granos se muelen rompiendo las cáscaras del grano y exponiendo el almidón del endospermo. Lo ideal es dejar intacta la cáscara ya que esta contiene compuestos tánicos que dan la sensación de astringencia y que pueden ser extraídos durante el molido.

### 5.5.3. Maceración

Es durante este proceso donde se obtiene el mosto, una solución dulce formada por azúcares fermentables, dextrinas, proteínas, aminoácidos y otros elementos, disueltos en agua. La maceración consiste en someter una mezcla de agua y granos a una serie de descansos a



diferentes temperaturas, que deberán ser sostenidos durante un tiempo específico (Gigliarelli , 2011).

La naturaleza y la calidad del extracto del mosto son en un 90% resultado de las enzimas de la malta que actúan sobre los sustratos en la malta y los adjuntos durante la maceración. Las condiciones de la maceración como temperatura, tiempo, relación agua/grano y pH, afectan las propiedades del mosto, por lo que deben determinarse al momento de planear una receta y varían dependiendo de los ingredientes usados, de los métodos de elaboración y del perfil que se le quiera dar a la cerveza.

Durante la maceración, son las enzimas las responsables de casi todas las reacciones que ocurren en esta etapa, una enzima es una proteína catalizadora cuya función es acelerar una reacción química acortando un proceso que sin su presencia sería mucho más lento. Tanto la temperatura como el pH son factores importantes para la actividad enzimática y como estos valores difieren de una enzima a otra, se recurre a escalones de temperaturas durante la maceración así como variaciones de pH del mosto para favorecer el trabajo de cada una de ellas o de alguna en especial (Gigliarelli , 2011).

Una temperatura baja (35-40°C) permite la actividad de la fitasa la cual degrada la fitina presente en la malta logrando acidificar el mosto. La actividad proteolítica (proteinasas y peptidasas) comienza cerca de los 45°C y continua hasta los 50°C. Entre una temperatura de 60 y 65°C comienza la actividad de la  $\beta$ -amilasa, enzima responsable en gran medida de la sacarificación (producción de azúcares fermentables como maltosa), dependiendo de la enzima  $\alpha$ -amilasa que tiene actividad a un rango de temperatura de 67-75°C, promoviendo la producción de dextrinas, proteínas y enzimas. A temperaturas altas (70-72°C), se lleva a cabo la formación de glicoproteínas, las cuales promueven la estabilidad y textura de la espuma de la cerveza (Fix, 1999). En el mosto, del 80% de los azúcares fermentables como glucosa, fructosa y sacarosa, menos del 15% provienen de la

malta. Las dextrinas (azúcares no fermentables) no tienen sabor por si solas ni son suficientemente densas como para aportar viscosidad o “cuerpo” a la cerveza, así como contribuir a la formación y estabilidad de la espuma, además la hidrólisis de las dextrinas por las amilasas salivales en la cavidad oral produce glucosa, que contribuye con el sabor residual de la cerveza (Lewis, *et al.*, 1995).

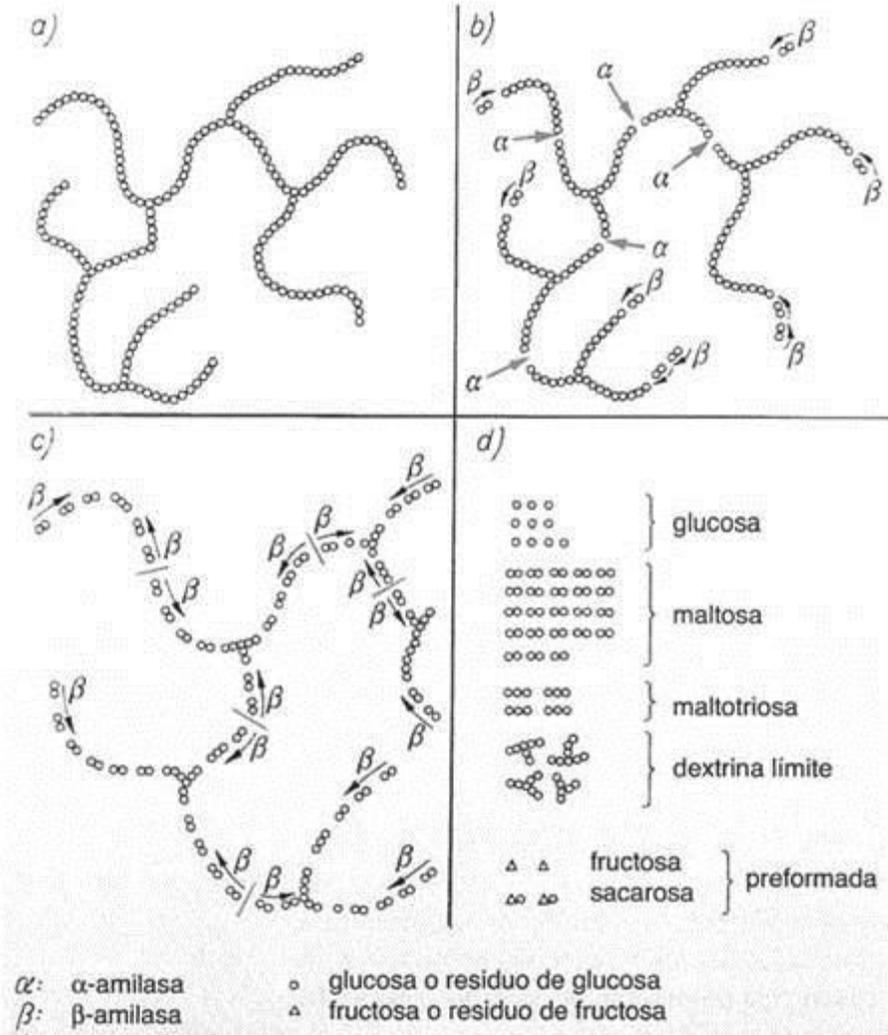


FIGURA 5.2. CONVERSIÓN DEL ALMIDÓN POR MEDIO DE ENZIMAS ALFA Y BETA AMILASAS.

#### 5.5.4. Hervido y lupulado

Después de la filtración el mosto es hervido junto con la planta de lúpulo con el fin de esterilizar el mosto, coagular las proteínas para clarificar la cerveza y extraer los alfa-ácidos del lúpulo que darán el gusto amargo.



El lúpulo, *Humulus lupulus L*, es miembro de la familia Cannabinaceae, es nativa de Europa, Asia y Norte América. Para la elaboración de cerveza, solo se emplean las flores femeninas de la planta. El lúpulo contiene cientos de compuestos, pero la mayor parte de su valor para la elaboración de cerveza se encuentra en las resinas y aceites de lúpulo, los cuales se encuentran en las glándulas de la planta. Las resinas del lúpulo contribuyen con el amargor y los aceites esenciales con su aroma (Lewis, *et al.*, 1995). Además el lúpulo también contribuye con la estabilidad biológica de la cerveza ya que tiene actividad bacteriostática que inhibe el crecimiento de bacterias Gram-positivas en la cerveza terminada, ayuda a la estabilidad coloidal de la cerveza ya que cuando se encuentra en concentraciones suficientemente altas ayuda a la precipitación de proteínas y a la estabilización de su espuma (Keukeleire, 2000).

Para la elaboración de cerveza se ocupan diferentes variedades de lúpulo, cada variedad tiene sus propias características, pero son elegidas por las propiedades de amargor, el sabor o aroma que presentan en la cerveza (Goldammer, 2008). Cuantitativamente es el ingrediente que se emplea en menor cantidad, ya que solo es necesario unos pocos gramos para la elaboración de la cerveza, sin embargo, su contribución a las características sensoriales de la cerveza tiene un impacto mayor (Keukeleire, 2000). Existen más de 40 variedades de lúpulo y cada uno se emplea de acuerdo al estilo de cerveza que se quiera elaborar, así como los aromas y la intensidad de amargor que se desee obtener. En la tabla 5.2 se muestran solo algunas variedades de lúpulo así como sus características principales.

TABLA 5.2. VARIEDADES DE LÚPULO

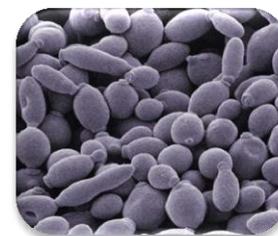
VARIEDAD DE LÚPULO	PRINCIPAL USO	AROMA	$\alpha$ -ácidos	ESTILOS DE CERVEZA EN LOS QUE SE EMPLEA
Amarillo	Confiere aroma	Floral, tropical y cítrico	8-11%	American Ales, IPA, Belgian-style IPA, Double IPA
Citra	Confiere aroma	Intenso aroma cítrico y tropical como uvas, melón, lima, lichi	11-13%	American-style Pale Ale, IPA, Double IPA
Galena	Confiere aroma y amargor	Cítrico	12-14%	English-style y American-style Ales
Liberty	Confiere aroma	Ligero aroma a especias	3-5%	Lager, Pilsner, Bock, Kölsch, Wheat
Nugget	Confiere amargor	Herbal	12-14.5%	Ales, Stout, Barley Wine, Saison, Biere de Garde
German Brewer's gold	Confiere amargor	Grosella negra, afrutado y picante	5-9%	Ales, German Lagers, Lambic, Saison, Biere de Garde

(Hopunion LLC;, 2011)

### 5.5.5. Fermentación

La fermentación es la etapa más importante para la formación de compuestos aromáticos en la cerveza.

El mosto enfriado es fermentado por la levadura, el tipo de levadura utilizada depende del tipo de cerveza a elaborar, para las cervezas tipo “Ale” (fermentación alta) cuya



temperatura de fermentación es entre los 18 y 25°C, la levadura empleada es *Saccharomyces cerevisiae*, y para las cervezas “Lager” (fermentación baja) con temperaturas de fermentación entre los 8 y 12°C se utiliza a *Saccharomyces pastorianus* (Kobayashi, *et al.*, 2008).

Durante la fermentación, como productos del metabolismo de la levadura, los azúcares fermentables del mosto (maltosa, maltotriosa, sacarosa, glucosa y fructosa), son convertidos a etanol y compuestos volátiles, varios compuestos importantes que confieren sabor, se producen como metabolitos secundarios del metabolismo de la levadura, como alcoholes superiores, ésteres y compuestos carbonílicos. Todos estos compuestos afectan el sabor final de la cerveza.

(Kobayashi, *et al.*, 2008). Esta primera fermentación se llama fermentación primaria y produce una cerveza verde o inmadura (Lewis, *et al.*, 1995).

Diferentes parámetros como la temperatura, el oxígeno disuelto, el diseño del fermentador y la presión influyen en la formación de los compuestos volátiles (Shen, *et al.*, 2004).

#### 5.5.6. Maduración

Durante la fermentación primaria, las levaduras catalizan una transformación masiva de azúcares en alcohol, dióxido de carbono y producción en masa de levadura, así como una pequeña pero importante cantidad de compuestos que confieren sabor y aroma a la cerveza. Esta cerveza aún no está lista para ser consumida ya que contiene partículas suspendidas, carece de suficiente carbonatación, el sabor no está totalmente madurado, es física y microbiológicamente inestable y el sabor y color aún debe ser ajustado (Lewis, *et al.*, 1995).

La maduración de los sabores de la cerveza requiere de la presencia de levaduras, esta se puede llevar a cabo por una fermentación secundaria o por el almacenamiento.

Para llevar a cabo la fermentación secundaria, se añaden cepas de levadura a la cerveza en barricas o botellas. Durante la fermentación secundaria las concentraciones de alcohol y de CO<sub>2</sub> aumentan. En las cervezas tipo "Ale" la gasificación de la cerveza se debe al CO<sub>2</sub> endógeno producido en esta etapa, y es esta carbonatación la responsable de crear espuma al servirla, además da a la cerveza un sabor refrescante.

La levadura hace a la cerveza menos sensible a malos sabores dependientes de oxígeno. Debido a que después de la fermentación principal la cerveza es pobre en nutrientes y oxígeno, la levadura durante la segunda fermentación tendrá un metabolismo principalmente fermentativo, lo que da como resultado un exceso de

coenzimas reducidas NADH y NADPH. Estas coenzimas son a su vez utilizadas por varias aldocetoreductasas, el poder reductor de la levadura resulta en la reducción de aldehídos y alcoholes. Algunos sabores indeseables en la cerveza son asociados con ciertos aldehídos por lo que esta etapa disminuye esos sabores (Vanderhaegen, *et al.*, 2003).

Después de la fase activa de la fermentación secundaria, un largo periodo de almacenamiento de la cerveza en contacto con la levadura, puede resultar en la autólisis de la levadura, lo que a su vez puede dar lugar a la excreción de compuestos como aminoácidos, péptidos, nucleótidos, ácidos grasos y enzimas que pueden afectar el sabor de la cerveza (Vanderhaegen, *et al.*, 2003).

#### 5.5.7. Clarificación, filtración y pasteurización

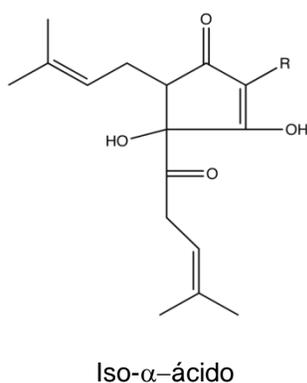
Después de la segunda fermentación, un tiempo suficiente en almacenamiento a bajas temperaturas, eventualmente producirá cervezas brillantes, las partículas más densas tenderán a asentarse más rápidamente que aquellas menos densas. Esta clarificación puede acelerarse por medio de la centrifugación y la filtración con el fin de remover las levaduras y otras partículas suspendidas (Lewis, *et al.*, 1995), que son responsables de la turbidez de la cerveza, además esta etapa es necesaria para lograr la estabilidad coloidal y microbiológica, además de evitar que durante su almacenamiento se produzcan cambios indeseables que afecten la apariencia del producto.

#### 5.5.8. Empaque y almacenamiento

Durante el almacenamiento se producen cambios que afectan las características sensoriales de la cerveza, estos cambios dependen de las condiciones en que se empaca y almacena el producto, así como de la botella donde se almacenará. El deterioro del sabor es resultado de reacciones de formación y degradación de

compuestos. La formación de moléculas en concentraciones por encima de sus respectivos umbrales conlleva a efectos notables, mientras que la degradación de los compuestos a concentraciones por debajo de su umbral puede causar la pérdida de sabores deseables en la cerveza. Además se pueden dar interacciones entre diferentes compuestos que pueden aumentar o suprimir el impacto del sabor de los compuestos aromáticos.

El contacto de la cerveza con el oxígeno provoca un rápido deterioro del sabor y el tipo de cambios en el sabor depende del contenido de oxígeno en la botella. Además de la concentración de oxígeno, la temperatura de almacenamiento también afecta las características de la cerveza ya al afectar la velocidad de reacción de diferentes reacciones químicas involucradas (Vanderhaegen, *et al.*, 2006).



Algunos compuestos responsables de la formación de aromas indeseables durante el almacenamiento de la cerveza son los iso- $\alpha$ -ácidos, estos ocasionan el sabor a rancio y a cartón. Aldehídos como el trans-2-nonenal, se forma durante el almacenamiento por precursores de los aceites esenciales de lúpulo. La exposición de la cerveza a la luz también genera olores y sabores indeseables, causado por la labilidad de los iso- $\alpha$ -ácidos a la luz.

Durante el almacenamiento, la formación de turbidez está asociada a las proteínas y polifenoles que se encuentran en la cerveza.

## 5.6. Propiedades sensoriales de la cerveza

El aroma de la cerveza se encuentra entre los más complejos que existen en la naturaleza por diversas razones. En primer lugar, por el gran número de sustancias volátiles que se encuentran formando parte de su composición química. En segundo

lugar por la naturaleza cambiante de dicha composición debida a la propia evolución de la cerveza. En tercer lugar por la gran variedad de cervezas que podemos encontrar, y por último porque en la mayor parte de las cervezas su aroma característico no es debido a un compuesto, sino a la acción de varios componentes químicos actuando conjuntamente (López , *et al.*, 2011).

Las características sensoriales que definen la calidad de cada cerveza son:

- Apariencia, esta viene dada por los siguientes atributos:
  - Transparencia. Permite clasificar a la cerveza en dos grupos: cervezas claras y brillantes y cervezas turbias.
  - Color. Puede variar desde amarillo pálido hasta negro oscuro.
  - Formación de burbujas o grado de carbonatación, cada cerveza tiene una forma diferente de liberar el CO<sub>2</sub> formando burbujas.
  - Espuma y formación de anillos de espuma en el vaso (Castañé, 2002).
- Sabor, la percepción del sabor involucra los sentidos individuales del tacto, el gusto y el olfato.
  - Tacto, se utiliza para percibir lo que se conoce como sensación en boca, que incluyen la suavidad, la astringencia, la temperatura y la sensación de la efervescencia causada por el CO<sub>2</sub>.
  - Gusto, es percibido por las papilas gustativas de la lengua, se reconocen 5 gustos, el dulce, salado, ácido, amargo y umami.
  - Olfato, que incluye los compuestos que se perciben en la boca por la vía retronasal (aroma en boca).
- Olor (aroma nasal): incluye los compuestos que se perciben por la nariz.
- Consistencia: los compuestos que le confieren “cuerpo” a la cerveza.

Recientemente, varios compuestos responsables del sabor de la cerveza han sido identificados. Estos pueden clasificarse en 5 grupos principalmente, los compuestos que provienen de:

- La materia prima: Tipo de agua, lúpulo, levadura, granos.
- Las condiciones de producción: fermentativas como el tiempo y temperatura, tipo de fermentación, así como tecnológicas.
- Productos del metabolismo de la levadura.
- Las condiciones de almacenamiento: el tipo de envase, el efecto del oxígeno y la luz.
- De la contaminación con microorganismos: la contaminación puede producirse durante la elaboración de la cerveza, por microorganismos como bacterias ácido acéticas, enterobacterias, *Lactobacillus spp*, *Pediococcus spp*, *Zymomonas spp*, *Pectinatus spp*, *Megasphaera*, etcétera (Lewis, *et al.*, 1995)

#### 5.7. ¿Qué es el análisis sensorial?

El análisis sensorial es una disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a las propiedades o atributos de los alimentos y materiales, que son percibidas por los sentidos del gusto, tacto, olfato, vista y oído (Sidel, *et al.*, 1985).

Se basa en las habilidades de las personas como instrumentos de medición, para cuantificar las propiedades sensoriales del producto y facilitar la descripción de los atributos que cada persona percibe (Murray, *et al.*, 2001).

El hecho de que se emplean personas como instrumentos de medición presenta ciertos inconvenientes, entre estos es que son muy variables con el tiempo y son muy variables entre sí. Para obtener resultados confiables a pesar de estas variaciones, se requiere realizar mediciones repetidas y contar con una cantidad suficiente de personas para que los resultados sean representativos (Meilgaard, *et al.*, 2007).

Las descripciones sensoriales son de máximo interés para poder situar objetivamente productos en el mercado; para lograr una caracterización es necesario disponer de técnicas de evaluación objetivas y reproducibles de las características del producto. El análisis sensorial es una herramienta fundamental para caracterizar las cervezas artesanales en estudio y determinar diferencias entre ellas debidas a la materia prima y/o proceso tecnológico.

#### 5.7.1. Pruebas descriptivas

Las pruebas sensoriales descriptivas surgen de la necesidad de poder caracterizar un alimento en función de todas sus propiedades sensoriales e implican la detección y descripción de los aspectos cualitativos y cuantitativos del producto (Meilgaard, *et al.*, 2007).

El análisis descriptivo es uno de los métodos sensoriales más sofisticados en el análisis sensorial, por medio de este se pueden obtener descripciones sensoriales completas de una amplia gama de productos, los atributos de un material son identificados, descritos y cuantificados utilizando personas que han sido seleccionadas y altamente entrenadas especialmente para ese propósito obteniendo aquellos atributos que son importantes para la aceptación o rechazo de un producto (Escalona Buendía, 1995).

#### 5.7.2. Tipos de pruebas descriptivas

Se han desarrollado diferentes metodologías para la descripción de los alimentos, entre ellos se encuentran:

- Perfil de sabor
- Perfil de textura
- Análisis Descriptivo “Spectrum”
- Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA)

En los últimos años se han desarrollado perfiles “rápidos” como:

- Perfil de Libre –Elección (Free-Choice)
- Perfil Flash

### 5.7.3. Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA)

El análisis descriptivo cuantitativo (QDA por sus siglas en inglés) es una metodología empleada para describir productos y sus diferencias usando un panel de jueces entrenados. Este análisis busca considerar todas las características sensoriales presentes en el alimento, los atributos son evaluados por un panel entrenado proporcionando una medida objetiva de la calidad sensorial del producto. La principal ventaja del análisis sensorial comparada con los métodos químicos es que este describe las propiedades del producto en un lenguaje relevante para la percepción de la gente, siguiendo un proceso consensual para el desarrollo del lenguaje libre de la influencia del líder. Por lo tanto, el panel sensorial usado de esta manera se considera un instrumento analítico (Escalona Buendía, 1995).

### 5.7.4. Pasos del QDA

Los pasos a seguir para el Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA) son los siguientes:

- 1. Selección de un panel sensorial:** Se seleccionan personas con habilidad sensorial para identificar características específicas del producto, que sean capaces de diferenciar distintas intensidades de estas en reiteradas ocasiones. Es importante que los jueces integrantes del panel tengan la capacidad de describir estímulos percibidos en el producto en estudio, además que tengan interés en el proyecto y disponibilidad para la duración del estudio.

**2. Generación de atributos descriptivos:** El panel de jueces desarrolla un vocabulario que describa los atributos de los productos, el panel es coordinado por un líder que no participa en la evaluación (Murray, *et al.*, 2001). Los jueces pueden usar cualquier palabra que describa al producto, no hay restricción en el número o tipo de palabras, excepto aquellas que emitan juicios de preferencia como bueno, malo, etcétera. El panel se expone a una amplia gama de muestras de los productos que se va a evaluar, así como a posibles referencias que se vayan requiriendo al generar los términos descriptivos. Las referencias pueden ser un producto, un ingrediente o algún material que represente la sensación particular y el atributo o atributos usados para describir esa sensación (Sidel, *et al.*, 1985). Los jueces escriben los atributos que perciben en cuestionarios dedicados a ese fin. El vocabulario inicial se centra en las diferencias entre productos. Los jueces son evaluados en varias ocasiones hasta estar seguros que todos responden a todas las propiedades sensoriales en el producto (Sidel, *et al.*, 1985). Una vez que se ha generado una lista del vocabulario, se lleva a cabo un consenso donde se seleccionan los descriptores finales (Murray, *et al.*, 2001). El lenguaje seleccionado deberá ser de fácil aprendizaje y significativo para el producto que se evaluará. El desarrollo del lenguaje es un proceso iterativo y depende del producto, puede tomar como mucho entre 7 y 10 horas antes de llegar a un acuerdo sobre los atributos del producto (Sidel, *et al.*, 1985).

**3. Entrenamiento:** Una vez que se seleccionan los términos, el grupo está capacitado para utilizar un "lenguaje común" como referencia para definir los atributos y su intensidad en el producto a prueba (Murray, *et al.*, 2001). Se tiene que conseguir que para todos los jueces el término descriptivo tenga el mismo significado, lo que lleva a una precisa identificación del estímulo asociado al descriptor. La formación de conceptos sensoriales implica 2 procesos: abstracción y generalización, para el primero el individuo reconoce el concepto sensorial al relacionarlo con algún estándar para cada descriptor,

y en el proceso de generalización, el individuo logra reconocer el concepto sensorial dentro de algún objeto sin necesidad de compararlo directamente con algo que lo contenga. Para la cuantificación de la intensidad de los descriptores, se utilizan escalas no estructuradas, estas permiten la cuantificación de todos los atributos sensoriales considerados (Escalona Buendía, 1995), este tipo de escalas poseen la propiedad de generar datos continuos que a su vez tienen la posibilidad de presentar una distribución normal. Una escala de línea da la posibilidad al juez de indicar la intensidad de cada atributo en un número infinito de lugares, no se utilizan números para la cuantificación. La línea debe tener 15cm de largo para que sea efectiva, donde las palabras de los extremos se deben situar a 1.5cm aproximadamente del inicio o fin de la línea (Figura 5.3). La dirección de la escala siempre va de izquierda a derecha con intensidad creciente. Los jueces deberán poner una línea vertical sobre la línea horizontal en el punto donde mejor refleje la intensidad que percibe de cada atributo.

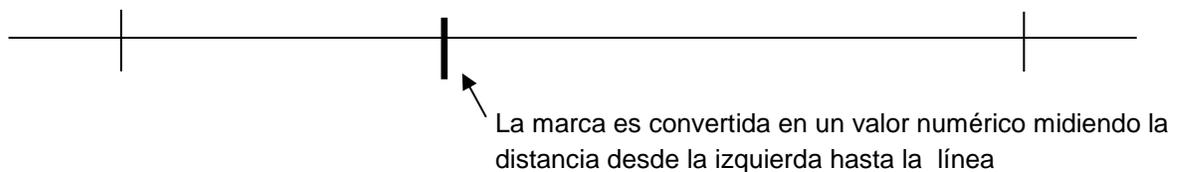


FIGURA 5.3. EJEMPLO DE ESCALA NO ESTRUCTURADA

- 4. Evaluación:** Para esta etapa se le presentan a los jueces en condiciones homogéneas, las muestras del producto a evaluar y un cuestionario donde indicará la cuantificación de cada atributo. Se realizan las suficientes repeticiones para poder evaluar estadísticamente las diferencias entre productos o tratamientos, la efectividad de los términos descriptivos, el desempeño de cada juez y los posibles efectos de interacción (Escalona Buendía, 1995)

**5. Expresión de los datos (numérica y gráficamente):** Se pueden presentar los resultados como promedio por atributo en cada producto con su respectiva desviación estándar. Los promedios de cada característica pueden ser representados gráficamente creando lo que se llama un "perfil descriptivo" también conocidos como diagramas de "radar" o "telaraña", donde el número de líneas del diagrama será igual al número total de atributos generados, para cada atributo su intensidad se incrementa a medida que se aleja del punto central (Figura 5.4).

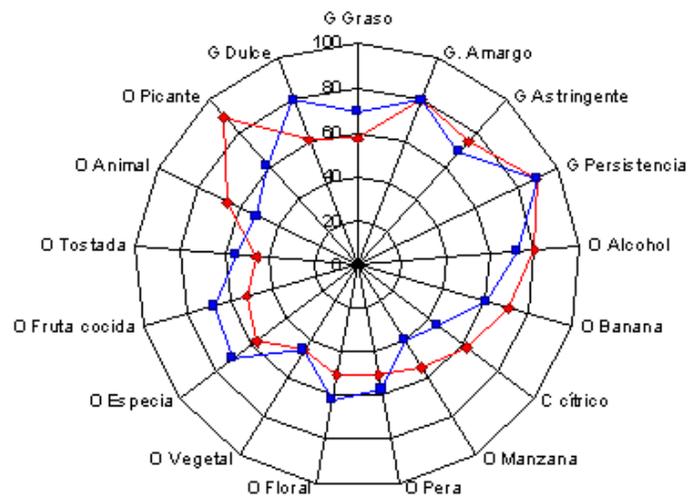


FIGURA 5.4. EJEMPLO DE UN DIAGRAMA DE RADAR O "TELARAÑA"

### 5.8. Análisis estadístico para la evaluación de los datos sensoriales

El análisis estadístico más apropiado para analizar las respuestas de una prueba descriptiva es el modelo de análisis de varianza (ANOVA). En el QDA los jueces evalúan todos los productos, atributo por atributo, en más de una ocasión, lo que significa que existe una interacción de juez por tratamiento (producto). Para cada atributo, se puede realizar un ANOVA para determinar si hay diferencias entre los

productos, así como determinar diferencias entre jueces y los efectos de interacción de tratamiento con jueces. Realizar un análisis de varianza para cada atributo considerado requiere de mayor tiempo y de la necesidad de integrar mucha información con el fin de tener una visión global de los resultados que aportó la evaluación sensorial (Sidel, *et al.*, 1985).

Para considerar toda la información obtenida del QDA se puede recurrir al uso de métodos estadísticos multivariantes. Estos se describirán a detalle más adelante.

#### 5.9. Métodos instrumentales para la determinación de compuestos volátiles en cerveza.

Una de las tareas más formidables a las que se enfrenta la química analítica es la de identificar los compuestos volátiles que definen el olor y sabor de un alimento (Reineccius, 2006).

El análisis de los compuestos volátiles es importante ya que el olor es necesario para la percepción del sabor. El olor de un alimento es detectado cuando los volátiles pasan a través de la cavidad nasal y estos son percibidos por el sistema olfatorio (Meilgaard, *et al.*, 2007).

El sabor de la cerveza es uno de los factores más importantes en la evaluación de su calidad, este es determinado en gran medida por una mezcla compleja de compuestos volátiles que varían tanto en estructura química como en concentración. Los métodos analíticos más comunes para analizar volátiles en la cerveza son técnicas de separación cromatográfica como la cromatografía de gases (GC) y la cromatografía de gases acoplada al espectrómetro de masas (GC-MS) la cual ofrece una herramienta poderosa para identificar y cuantificar dichos compuestos.

### 5.9.1. ¿Qué es la cromatografía de gases?

La cromatografía de gases (GC) es una técnica de separación de compuestos de una mezcla, alimento o bebida. La operación básica de la GC involucra 3 pasos, 1° la volatilización de la muestra en el inyector, 2° la separación de los compuestos de la mezcla dentro de una columna diseñada para tal fin, y 3° la detección de dichos compuestos por medio de un detector. Para llevar a cabo el transporte de la muestra hacia el interior de la columna y de ahí hasta el detector, es necesario el uso de un gas acarreador, el cual puede ser hidrógeno o helio. La columna contiene en su interior un revestimiento de fase estacionaria. La separación de los compuestos está determinada por la distribución de cada compuesto entre el gas acarreador (fase móvil) y la fase estacionaria (Kitson, *et al.*, 1996).

Para la detección de los compuestos existe una gran variedad de detectores de acuerdo al tipo de compuestos que se quiera analizar, uno de los más usados es el detector de ionización de flama (FID). El FID es adecuado para el análisis de compuestos hidrocarburos como el metano, acetileno, etcétera, pero también para compuesto orgánicos volátiles. En un FID la muestra se somete a una combustión, en la llama se forman iones y electrones libres, las partículas cargadas producen un flujo de corriente medible en el espacio entre los electrodos en el detector; el flujo de la corriente resultante es de mayor resistencia que la señal producida por el gas portador puro y el gas combustible solo. Este diferencial de la señal proporciona información acerca de la muestra. La corriente es proporcional a la información que depende de la composición de la muestra separada.

Este tipo de técnica solo puede emplearse para materiales que pueden ser volatilizados sin que esto conlleve a su destrucción.

El análisis de los compuestos volátiles en la cerveza requiere del uso de técnicas de extracción antes de su análisis instrumental. Ya que la cerveza contiene compuestos no volátiles, su inyección directa en el cromatógrafo llevaría a la contaminación del

instrumento, lo cual resulta muy costoso, además la cerveza contiene compuestos como el acetaldehído, que no son fáciles de detectar en muestras líquidas. Por esta razón, se prefiere el uso de técnicas de extracción como la extracción de los compuestos volátiles del espacio de cabeza o headspace (HS) (Charry, *et al.*, 2011).

#### 5.9.2. Extracción del espacio de cabeza (HS)

Una de las técnicas más importantes e innovadoras para la toma de la fracción volátil de las muestras se ha logrado en la fracción “vapor”, mejor conocido como muestreo del “espacio de cabeza”. El interés por esta técnica coincide con el desarrollo de técnicas de preparación de muestras para la extracción de compuestos libres de solventes, las cuales son técnicas en las que el analito (s) es (son) aislado (s) a partir de una matriz, minimizando el uso de solventes líquidos.

Técnicas como la extracción con disolvente utilizando cloruro de metileno, y la concentración por destilación con vapor se han establecido para la extracción y concentración de los compuestos volátiles de la cerveza. Dichas técnicas tienen desventajas como la necesidad de equipo costoso, uso de solventes perjudiciales para el medio ambiente, manipulación de la muestra lo que disminuye la precisión, y la necesidad de concentrar los analitos de interés hasta llegar a niveles detectables. Es por tal razón que se han desarrollado técnicas como la micro-extracción en fase sólida (SPME).

#### 5.9.3. Micro-extracción en fase sólida (SPME)

La técnica de SPME elimina muchas de las desventajas mencionadas anteriormente, ya que no es necesario el uso de solventes orgánicos, permite cuantificar un gran número de compuestos volátiles con bajos límites de detección ( $\mu\text{g/L}$  y  $\text{mg/L}$ ), logra una buena linealidad, la extracción y concentración de analitos se producen en un

solo paso, sólo requiere de una preparación mínima de la muestra, requiere menor tiempo de análisis y es relativamente barato en comparación con otras técnicas. Por otro lado, al ser una técnica más sensible, permite el uso de pequeños volúmenes de muestra, por lo que la columna no se expone a grandes cantidades de agua o disolventes (Charry, *et al.*, 2011).

#### 5.9.4. Micro-extracción de fase sólida- espacio de cabeza (HS-SPME)

Esta técnica se basa en la concentración de los analitos presentes en el espacio de cabeza (HS) sobre una fibra recubierta de sílice fundida, la cual se encuentra montada en una aguja de acero inoxidable. Durante la extracción HS-SPME, los analitos se extraen del HS cuando se ha llegado al equilibrio entre el líquido, el gas y las fases de la fibra. Los analitos acumulados son recuperados por desorción térmica en el inyector del cromatógrafo.

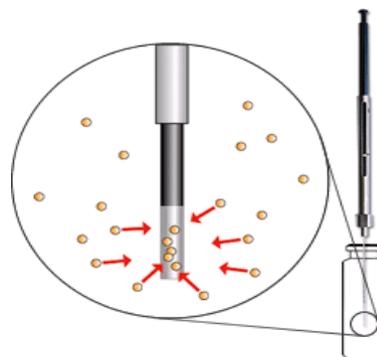


FIGURA 5.5 HS-SPME

#### 5.9.5. Micro-extracción en fase sólida- espacio de cabeza acoplado a la cromatografía de gases /espectrómetro de masas (HS-SPME-GC/MS)

La cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masas (GC/MS) se ha empleado para identificar y cuantificar los compuestos del aroma y sabor en varios productos alimenticios, incluyendo la cerveza.

Su aplicación se debe a la eficiencia de separación de la cromatografía de gases y a la alta sensibilidad y la información cualitativa que provee el espectrómetro de masas (Santos , *et al.*, 2003).

El espectrómetro de masas es un instrumento que mide la relación masa/carga ( $m/z$ ) de los iones en fase gaseosa y da una medida de la abundancia de cada especie iónica. La medición se calibra contra iones de  $m/z$  conocida (Kitson, *et al.*, 1996).

#### 5.9.6. Estudios realizados en cervezas para la determinación de compuestos volátiles mediante GC/ MS empleando el método de HS/SPME.

Son varios los estudios que hasta el momento se han llevado a cabo para la determinación de los compuestos volátiles en cervezas, estas se han realizado con el fin de optimizar técnicas de extracción y cuantificación de los diferentes compuestos volátiles, a continuación se muestran algunos de los trabajos que se han encontrado para este fin.

**TABLA 5.3. ESTUDIOS REALIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS VOLÁTILES EN CERVEZA.**

<b>Autor (es)</b>	<b>Estudio</b>	<b>Resultados obtenidos</b>
Saison <i>et al.</i> (2008)	Optimization of a complete method for the analysis of volatiles involved in the flavour stability of beer by solid-phase micro-extraction in combination with gas chromatography and mass spectrometry	Los aldehídos muestran una extracción óptima con la fibra PDMS-DVB. La extracción de otros compuestos es óptima con la fibra DVB-CAR-PDMS
Saison <i>et al.</i> (2009)	Determination of carbonyl compounds in beer by derivatisation and headspace solid-phase micro-extraction in combination with gas chromatography and mass spectrometry	Se encontró que la fibra PDMS-DVB es la que mejor extrae los compuestos carbonilos, seguida por PDMS y DVB-CAR-PDMS
Charry <i>et al.</i> (2011)	Beer Volatile Analysis: Optimization of HS/SPME Coupled to GC/MS/FID	Las fibras PDMS y CAR/PDMS tienen mayor selectividad por compuestos como ésteres y alcoholes superiores.  La fibra DVB/CAR/PDMS extrae un mayor número de compuestos volátiles.
Dong <i>et al.</i> (2013)	Analysis of volatile compounds from a malting process using headspace solid-phase micro-extraction and GC-MS	La fibra DVB/CAR/PDMS es la más apropiada para el análisis de los compuestos volátiles por tener una polaridad intermedia.

Uno de los parámetros más importantes que debe ser considerado para la optimización de extracción por SPME es la fibra que se empleó, debido a que la

polaridad y características de volatilidad determinan la naturaleza química de los analitos extraídos (Charry, *et al.*, 2011).

#### 5.10. ¿Qué son los compuestos volátiles?

Los compuestos volátiles son moléculas con un peso molecular relativamente bajo lo que permite su eficiente evaporación en el aire. Al ser transportados por difusión a través del aire, estos compuestos realizan diversas funciones, desde la comunicación entre insectos y/o plantas, hasta ser los responsables del sabor y olor de los alimentos y bebidas que consumimos. La variedad estructural de estos compuestos, está basada en un esqueleto hidrocarburo con oxígeno, nitrógeno y azufre (Herrmann, 2010).

##### 5.10.1. Compuestos volátiles en la cerveza

Debido a la complejidad de la cerveza, no es posible caracterizar el aroma de la misma por unos pocos compuestos, de hecho, son muchos los compuestos que contribuyen al aroma de esta bebida, tanto individualmente como de forma sinérgica o antagónica.

Los compuestos que aportan olor y sabor a la cerveza proceden de las distintas etapas de elaboración, además factores como la materia prima empleada y las condiciones de almacenamiento contribuyen a la generación de diversos compuestos que pueden alterar el producto. A continuación se describirán las diversas clases de los compuestos de mayor importancia que determinan el olor y sabor de la cerveza, así como la procedencia de los mismos.

### 5.10.2. Etanol y alcoholes superiores

Una gran variedad de alcoholes contribuyen al olor y sabor de la cerveza. El más importante de todos es el etanol, ya que se encuentra en mayor proporción.

El etanol es formado como producto principal de la fermentación, durante el periodo de la vía Embden-Meyerhof-Parnes (EMP), la cual comienza con una mol de glucosa o fructosa produciendo 2 moles de etanol y 2 moles de dióxido de carbono (Figura 5.6).

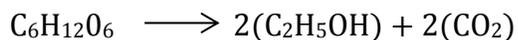


FIGURA 5.6. FORMACIÓN DE ETANOL

El etanol contribuye directamente al sabor de la cerveza confiriéndole su carácter 'alcohólico', además puede influir en la percepción del sabor de otros componentes de la cerveza, así como en el reparto de los componentes del aroma entre la parte líquida y la espuma.

Los alcoholes superiores, llamados así por tener pesos moleculares superiores al etanol, son producidos por la levadura como metabolitos secundarios a partir de los esqueletos de carbono de los aminoácidos del mosto, los oxo-ácidos producidos por transaminación son descarboxilados formando  $\text{CO}_2$  y aldehídos. El aldehído es después reducido al correspondiente alcohol superior. Este tipo de alcoholes contribuyen con el aroma alcohólico y la sensación de calentamiento en la boca (Hughes, 2008), (Hardwick, 1994).

A continuación se muestran los principales alcoholes encontrados en la cerveza y la forma como contribuyen al olor y sabor de la bebida (Tabla 5.4).

**TABLA 5.4. PRINCIPALES ALCOHOLES ENCONTRADOS EN LA CERVEZA Y SU CONCENTRACIÓN (mg/L)**

Alcohol	Concentración (mg/L)	Descriptor sensorial
Etanol	2.5-5%	Alcohólico-sensación de calentamiento
1-Propanol	3.0-16	Alcohólico
Alcohol isopropílico (2-propanol)	<0.5	Alcohólico
Isobutanol (2-metil-1-propanol)	5.0-20	Alcohólico- sensación de calentamiento
Butanol	0.3-3	Alcohólico- sensación de calentamiento
Alcohol amílico activo (2-metilbutanol)	8.0-30	Alcohólico, vinoso, plátano
Alcohol iso-amílico (3-metilbutanol)	30-70	Alcohólico, plátano, solvente
Alcohol feniletílico (2-fenil etanol)	8.0-35	Rosas, amargo, perfumado
1-octen-3-ol	0.01-0.02	Hierba recién cortada, perfume
2-decanol	0.4	Coco, anís
Glicerol	0.13-2	Dulce, viscoso
Tirosol	3.0-40	Amargo, a sustancia química

(Hardwick, 1995)

Los niveles de etanol así como de alcoholes superiores dependen de varios factores, siendo el más importante el tipo de cepa de levadura, las cepas “Ale” son las que producen más alcoholes superiores que las cepas “Lager”. Las condiciones que favorecen el aumento del desarrollo de las levaduras como la aireación excesiva o la oxigenación promueven la formación de alcoholes superiores situación, que puede mejorarse si se aplica una presión alta durante la fermentación (Hughes, *et al.*, 2001) (Fix, 1999).

### 5.10.3. Ésteres

Los ésteres son considerados los responsables del aroma frutal de la cerveza, estos son formados durante la fermentación en las células de la levadura. Una vez que el alcohol está presente, hay posibilidades de que reaccione formando ésteres. La reacción entre el alcohol y una molécula de acetil coenzima A produce un éster, también los alcoholes pueden combinarse con ácidos orgánicos y formar ésteres, en este proceso un alcohol  $R_1CH_2OH$  y un ácido  $R_2COOH$  reacciona de la siguiente forma (Figura 5.6), (Hughes, *et al.*, 2001).



FIGURA 5.7. FORMACIÓN DE ÉSTER

Los ésteres más comunes en la cerveza son los siguientes (Tabla 5.5).

**TABLA 5.5. PRINCIPALES ÉSTERES ENCONTRADOS EN LA CERVEZA Y SU CONCENTRACIÓN (mg/L)**

Éster	Concentración (mg/L)	Descriptor sensorial
Acetato de etilo	8.0-42	A disolvente, dulce
Acetato de isoamilo	0.6-4	Plátano, disolvente
Butirato de etilo	0.12-0.24	Piña, fresas
Hexanoato de etilo (caproato de etilo)	0.1-0.5	Manzana, frutal, dulce
Octanoato de etilo (caprilato de etilo)	0.1-1.5	Manzana, fruta tropical, dulce
Acetato 2-feniletilo	-	Rosas, miel, manzana
Nicotinato de etilo	-	Cereal, perfume

(Fix, 1999), (Hughes, 2008)

Ya que el etanol se encuentra en mayor concentración, el éster más común es el acetato de etilo. Los factores que influyen sobre los niveles de estos compuestos son:

- El tipo de cepa de levadura, ya que tanto la producción de ésteres como su cantidad difieren entre cepa y cepa. Además, la influencia de los parámetros de fermentación, tales como el oxígeno y la temperatura, depende de la cepa.
- La gravedad específica del mosto, ya que fermentaciones de mostos de alta gravedad conllevan a una sobreproducción de ésteres dando cervezas afrutadas o con aroma a solvente.
- Contenido de nitrógeno, niveles bajos de nitrógeno resultan en una baja producción de ésteres y viceversa.
- Contenido de oxígeno, a cierto nivel de O<sub>2</sub> la producción de ésteres es máxima, y esta decrece cuando el contenido de éste es muy alto o muy bajo,

por lo que la aireación del mosto o su oxigenación es una herramienta poderosa para el control de la producción de ésteres durante la fermentación.

- Temperatura de fermentación, generalmente incrementos en la temperatura en un rango de 10-25°C generan un incremento en la producción de ésteres (Verstrepen, *et al.*, 2003).

#### 5.10.4. Dicetonas vecinales

Las dicetonas vecinales son consideradas como productos indeseables en la cerveza, ya que generan sabores y olores poco agradables, sin embargo, estos compuestos son aceptados en algunos tipos de cerveza, como en las de tipo Ale y esto depende del estilo. Estas sustancias se derivan del piruvato y su homólogo  $\alpha$ -oxobutirato. El  $\alpha$ -acetolactato y el  $\alpha$ -cetobutirato, son ácidos producidos como intermediarios en la biosíntesis de los aminoácidos valina e isoleucina respectivamente. Una vez en la cerveza, los ácidos se someten espontáneamente a una descarboxilación oxidativa que produce dicetonas. Las principales dicetonas encontradas en la cerveza se muestran a continuación (Tabla 5.6) (Lewis, *et al.*, 1995) (Hughes, *et al.*, 2001).

**TABLA 5.6. PRINCIPALES DICETONAS ENCONTRADAS EN LA CERVEZA**

Dicetonas	Concentración (mg/L)	Descriptor sensorial
2,3-butanodiona (diacetilo)	0.01-0.4	Mantequilla
3-hidroxi-2-butanona	0.01-0.06	Frutal, mohoso, a madera
2,3-butanodiol	-	Goma, dulce
2,3-pentanodiona	0.01-2	Mantequilla, frutal
3-hidroxi-2-pentanona	0.02	-

(Hardwick, 1995)

### 5.10.5. Compuestos azufrados

Durante la fermentación las levaduras producen algunos compuestos azufrados como sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) y dióxido de azufre ( $SO_2$ ), estos compuestos son indeseables ya que son responsables del olor a huevo podrido, aunque algo de  $SO_2$  es deseable en la cerveza, ya que actúa como antioxidante y estabiliza los componentes carbonilo reactivos responsables de malos sabores en la cerveza madura (Vanderhaegen, *et al.*, 2003). A niveles ligeramente superiores al nivel umbral, su impacto sobre el sabor no es desagradable, de hecho, muchas Ales contienen cantidades apreciables de  $H_2S$ .

El sulfuro de hidrógeno se genera en la cerveza por diversas rutas, como la reducción de sulfitos o sulfatos, la degradación de aminoácidos (cisteína) o péptidos como el glutatión. Las actividades reductoras dependen de la cepa de levadura, las cepas para “Ale” son más aptas para reducir el dióxido de azufre en sulfuro de hidrógeno que las cepas “Lager”. Los compuestos azufrados comúnmente encontrados en la cerveza son los siguientes (Tabla 5.7) (Hughes, *et al.*, 2001).

**TABLA 5.7. PRINCIPALES COMPUESTOS AZUFRADOS ENCONTRADOS EN LA CERVEZA.**

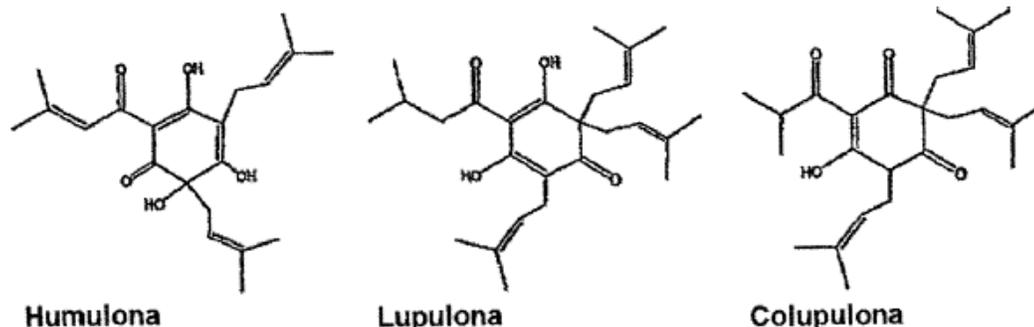
<b>Compuesto azufrado</b>	<b>Concentración (mg/L)</b>	<b>Descriptor sensorial</b>
Sulfuro de hidrógeno	0.001-0.01	A huevo podrido
Dióxido de azufre	0.2-20	A mecha quemada
Metanotiol	<0.03	Putrefacción
Sulfuro de dimetilo	<0.003	Maíz dulce
Sulfuro de dietilo	0-0.05	Hortalizas cocidas
Disulfuro de dimetilo	1-3( $\mu$ g/L)	Hortalizas podridas
Trisulfuro de dietilo	-	Ajo

(Fix, 1999) (Hardwick, 1995)

### 5.10.6. Compuestos que provienen del lúpulo

La adición de lúpulo a la cerveza no sólo imparte amargor sino también un peculiar aroma a lúpulo. El aroma del lúpulo en la cerveza es resultado del sinergismo de diferentes compuestos volátiles presentes en los aceites esenciales, y compuestos no volátiles presentes en la fracción polifenólica, que se encuentran en bajas concentraciones. Las proporciones de estos constituyentes dependen de la variedad de lúpulo, así como de las condiciones en las que crece cierta variedad (Keukeleire, 2000).

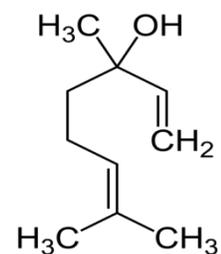
Las resinas son los ácidos de lúpulo, estos se dividen en alfa ácidos (2 a 16%) entre los que se encuentran las humulonas, cohumulonas y adhumulonas, y los beta-ácidos (1.5 a 9.5%) como las lupulonas, colupulonas y adlupulonas. Estos constituyentes se derivan de los aminoácidos hidrofóbicos leucina, valina e isoleucina, respectivamente. Durante el hervido del mosto junto con el lúpulo la reacción más importante que se lleva a cabo es la isomerización de los  $\alpha$ -ácidos produciendo iso- $\alpha$ -ácidos o isohumulonas, cada humulona da lugar a dos epímeros de isohumulonas, cis-isohumulonas y trans-isohumulonas. Por tanto, se forman seis iso- $\alpha$ -ácidos (cis-isohumulona, trans-isohumulona, cis-iso-cohumulona, trans-iso-cohumulona, cis-iso-adhumulona y trans-iso-adhumulona), resultantes de la conversión de los tres principales  $\alpha$ -ácidos, humulona, cohumulona y adhumulona respectivamente. Estos seis iso- $\alpha$ -ácidos están presentes en la cerveza.



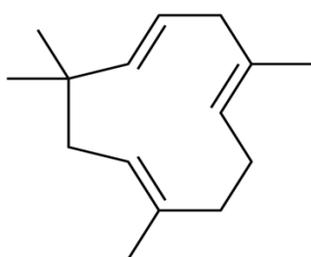
La contribución de los iso- $\alpha$ -ácidos a las características sensoriales de la cerveza es de gran importancia ya que son estos los que proporcionan el gusto amargo típico de las cervezas (Keukeleire, 2000). El lúpulo también contiene aceites esenciales (0.2 a 3%) los cuales se componen por más de 300 compuestos, principalmente contienen una fracción de hidrocarburos (80-90%) y una fracción oxigenada (Keukeleire, 2000), (Silva, *et al.*, 2008).

La fracción hidrocarbonada está constituida por terpenos como mirceno en mayor proporción y  $\beta$ -pineno, y aproximadamente 40 sesquiterpenos como los  $\beta$ -cariofileno y humuleno, que se encuentran en mayor abundancia. Estos dos últimos pueden ser oxidados fácilmente con el aire, contribuyendo a la fracción oxigenada del aceite. Este tipo de compuestos contribuye a la sensación pungente en la cerveza.

La fracción oxigenada la componen alcoholes como el linalol y geraniol, ésteres como isobutirato de geranilo y 4-metil-decanoato y cetonas. Todos estos compuestos le confieren a la cerveza aromas frutales, florales, herbales y cítricos, además el lúpulo también contiene una pequeña cantidad de compuestos azufrados, como los tioésteres (Tinseth, 1994).



a. Linalol



b. Humuleno

La hidrólisis de los epóxidos de humuleno es una fuente importante de alcoholes. Algunos compuestos que han sido identificados en la cerveza derivados del lúpulo son el  $\alpha$ -terpineol, óxido de cariofileno, geraniol, humuladiona, epóxido de humulona, humuleno II, humulol, linalol, óxido de linalol, 4-terpinenol, citronelol y acetato de geranilo (Fix, 1999), (Hardwick, 1995).

**TABLA 5.8. PRINCIPALES COMPUESTOS PROVENIENTES DEL LÚPULO ENCONTRADOS EN LA CERVEZA**

		<b>Compuestos formados</b>	<b>Descriptor sensorial</b>
<b>Compuestos del lúpulo</b>	Resinas o Ácidos de lúpulo	$\alpha$ -ácidos (2-15%): Humulonas, cohumulonas y adhumulonas. $\beta$ -ácidos (2-9.5%): Lupulona, colupulonas y adlupulonas.	Gusto amargo Sabores rancios y a cartón.
	Aceites esenciales	Compuestos hidrocarbonados : terpenos como humulonas, mirceno, farneceno y cariofileno	Gusto amargo, sensación pungente
		Compuestos oxigenados: linalol, geraniol	Olor a lúpulo, aroma floral, herbal y cítrico
		Isohumulonas	Gusto amargo
	<b>Compuestos generados durante el hervido</b>	Compuestos azufrados: tioles, sulfidos, tioesteres, tiofenos y episulfuros Sulfuro de dimetilo	Olor a huevo podrido, a verduras cocidas

(Fix, 1999) (Hardwick, 1995)

### 5.11. Componentes de la cerveza con valor nutracéutico

Desde hace varios años, al consumo moderado de bebidas fermentadas se le han atribuido una variedad de beneficios para la salud. Estudios recientes han sugerido que su consumo reduce la mortalidad debida principalmente a enfermedades coronarias. Sin embargo, existen discrepancias en cuanto a los efectos específicos de los diferentes tipos de bebidas (vino, cerveza y licores) en el sistema cardiovascular y el cáncer, así como si los posibles efectos protectores de estas bebidas alcohólicas son debido a su contenido de etanol o a sus componentes no alcohólicos como los polifenoles.

Algunos de los beneficios asociados al consumo regular de vino y cerveza (uno a dos vasos por día), han mostrado una disminución en la incidencia de enfermedades cardiovasculares, hipertensión, diabetes y ciertos tipos de cáncer, incluyendo el de colon, de células basales, cáncer de ovario y carcinoma de próstata. El consumo moderado de cerveza se asocia con estos efectos pero en un menor grado que el consumo de vino, probablemente debido a que su contenido de polifenoles es menor.

Dichos beneficios a la salud se han atribuido principalmente a un aumento en la capacidad antioxidante, cambios en los perfiles de lípidos y los efectos anti-inflamatorios producidos por este tipo de bebidas alcohólicas (Arranz, *et al.*, 2012).

#### 5.11.1. ¿Qué son los compuestos antioxidantes?

“Los compuestos antioxidantes son cualquier sustancia que, cuando está presente en bajas concentraciones en comparación con las de un sustrato oxidable, retrasa significativamente o previene la oxidación de dicho sustrato” (Halliwell, 2007).

Los compuestos antioxidantes actúan de diversas formas, estas incluyen la formación de complejos de iones metálicos catalíticos-redox, la eliminación de los radicales libres y la descomposición de los peróxidos. La intensidad de estos efectos depende de la estructura química y de la concentración del compuesto antioxidante presente (Ribeiro, *et al.*, 2010).

#### 5.11.2. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos constituyen la principal clase de compuestos antioxidantes presentes en los vegetales y los cereales (Leitao, *et al.*, 2011).

El uso de cereales tales como la cebada y el maíz para la producción de cerveza contribuye a la ingestión de compuestos antioxidantes de origen natural ya que poseen un alto contenido de compuestos fenólicos como ácidos fenólicos (por ejemplo, ácido benzoico y derivados del ácido cinámico), proantocianidinas, taninos, flavonoides, chalconas, flavonas, flavononas y compuestos amino fenólicos (Ribeiro, *et al.*, 2010).

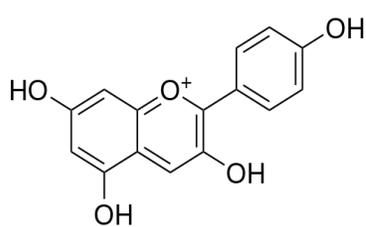
Tanto la cebada como el maíz, después del proceso de malteado parecen retener grandes cantidades de compuestos fenólicos y un asociado potencial antioxidante (Leitao, *et al.*, 2011), (Del Pozo, *et al.*, 2007).

El lúpulo, sirve como otra fuente importante de compuestos fenólicos, los conos del lúpulo contienen de 4-14% de polifenoles, principalmente ácidos fenólicos,

chalconas, flavonoides, catequinas y proantocianidinas. Cerca del 20-30% de los polifenoles de la cerveza provienen del lúpulo y del 70-80% provienen de la malta (Gerhäuser, 2005).

### 5.11.3. Antocianinas

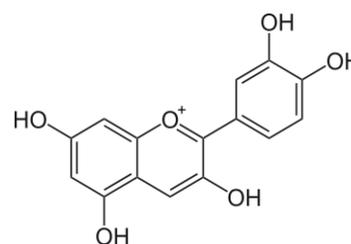
Las antocianinas son compuestos fenólicos del grupo de los flavonoides, responsables del color azul, púrpura, violeta y rojo de las frutas, vegetales, cereales, tubérculos, granos y flores, los cuales son una de las clases de flavonoides con mayor actividad anti-oxidante (Ramos, *et al.*, 2010), (Aguilera, *et al.*, 2011). Estas son probablemente el grupo más importante de los pigmentos vegetales visibles, además de la clorofila (Cortés, *et al.*, 2006).



a. Pelargonidina

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  $\beta$ -glucosídico. La estructura química de las agliconas es el ión flavilio, también llamado 2-fenilbenzopirilo, que

consta de dos grupos aromáticos: un benzopirilo y un anillo fenólico; el flavilo normalmente funciona como un catión. De todas las antocianidinas que actualmente se conocen (aproximadamente 20), las más importantes son la pelargonidina, delphinidina, cianidina, petunidina, peonidina y malvidina, la combinación de éstas con los diferentes azúcares genera aproximadamente 150 antocianinas.



b. Cianidina

Además de sus efectos benéficos sobre la salud humana, las antocianinas también influyen en las características sensoriales de los alimentos, estas pueden influenciar

su comportamiento tecnológico durante el procesamiento de alimentos (Aguilera, *et al.*, 2011).

En el maíz, las antocianinas se encuentran en su pericarpio y capa aleurona, estudios realizados por Salinas *et al.* (2012) indican que el contenido de antocianinas totales presentes en diferentes variedades de maíz van de 423 a 855 mg/kg expresados en mg equivalentes de cianidina 3-glucósido (ECG) por kg de muestra seca, de ellas solo dos representan entre el 80 y 90% de las antocianinas totales. En el caso del maíz azul la principal antocianidina es la cianidina y en menor proporción la malvidina y pelargonidina, esta última abunda en el maíz de color rojo (Salinas, *et al.*, 2012), (Cortés, *et al.*, 2006).

Otro estudio conducido por Salinas y colaboradores, registró que el contenido de antocianinas totales es mayor en granos de maíz azul en un rango de 213-940 mg ECG/kg de muestra, y es menor en granos de maíz rojo, de 30 a 188 mg equivalentes de pelargonidina/kg de muestra (Salinas, *et al.*, 2012).

#### 5.12. Métodos para el análisis estadístico de los datos sensoriales e instrumentales.

Los conjuntos de datos que surgen del análisis sensorial son generalmente muy grandes y la cantidad de información disponible acerca de las relaciones entre ellos es limitada, por lo tanto, es importante contar con métodos de análisis de datos que puedan manejar esa cantidad de datos.

##### 5.12.1. Análisis de Varianza (ANOVA)

El análisis de varianza (ANOVA) es uno de los métodos más utilizados, su principal objetivo es identificar y cuantificar los factores que son responsables de la variabilidad, es decir, separar la variación total en las partes con las que contribuye

cada fuente de variación en el experimento (Gutiérrez, *et al.*, 2008), (Naes, *et al.*, 2010).

#### 5.12.2. Métodos Estadísticos Multivariados

El Análisis Multivariado es un conjunto de métodos estadísticos y matemáticos, destinados a describir e interpretar los datos que provienen de la observación de varias variables estadísticas, estudiadas conjuntamente (Cuadras , 2007).

El objetivo de estos métodos es poder simplificar grandes conjuntos de datos con el fin de analizar simultáneamente dichos conjuntos encontrando relaciones entre las variables medidas y los objetos estudiados (Johnson , 2000).

#### 5.12.3. Análisis de Componentes Principales (PCA)

El Análisis de Componentes Principales (PCA por sus siglas en inglés), es utilizado para analizar interrelaciones de un grupo de variables y los materiales de investigación (productos a evaluar), para los cuales han sido medidas las variables (atributos sensoriales) (Escalona Buendía, 1995).

El PCA permite reducir el conjunto de variables dependientes (atributos), transformando este conjunto de “p” variables originales a otro conjunto de “q” variables no correlacionadas ( $q \leq p$ ) llamadas componentes principales. Las “p” variables son medidas sobre cada uno de los “n” individuos obteniéndose una matriz de datos de orden **np** (**p < n**). Las “q” nuevas variables (componentes principales) son obtenidas como combinaciones lineales de las variables originales. Los componentes se ordenan en función del porcentaje de variabilidad explicada. La reducción de la dimensionalidad, en función del porcentaje de variabilidad explicada (100% de variabilidad se considera como la suma de todas las varianzas de todas las variables consideradas), puede lograrse hasta conseguir que en 2 o 3 dimensiones se alcance un porcentaje de explicabilidad cercano al 100%. El primer componente

será el más importante por ser el que explica mejor el porcentaje de varianza de los datos. La reducción de la dimensionalidad no implica perder la información de ninguna de las variables originales. Al reducir las dimensiones es posible representar gráficamente los resultados del PCA (Escalona Buendía, 1995).

La información más importante obtenida del PCA es:

- Las variables más importantes en la diferenciación de los productos a evaluar
- La relación entre las variables (inversa, directa o ninguna relación)
- Las variables que caracterizan a cada producto o tratamiento a evaluar por presentar valores superiores sobre los demás materiales de estudio.
- Diferencias y similitudes entre los productos a evaluar.

#### 5.12.4. Análisis Procrustes Generalizado (GPA)

El Análisis Procrustes Generalizado (GPA por sus siglas en inglés) es un método multivariado exploratorio que involucra una serie de transformaciones (traslación, rotación, reflexión y escalación isotrópica) de una matriz de datos para proporcionar una óptima comparabilidad. El GPA tiene como objetivo tratar de conseguir que los mismos objetos estén tan cerca como sea posible reduciendo la influencia del juez mediante ajustes de escala y nivel, rotando y reflejando las diferentes configuraciones. La suposición más importante es que las distancias entre los “N” objetos para un juez no cambien durante estas transformaciones. Aunque las configuraciones pueden ser contraídas, las distancias relativas entre los objetos permanecen invariantes.

Este análisis procesa los datos originales mediante una transformación de la matriz de cada juez resolviendo las diferencias producidas por el efecto de escala, el efecto de interpretación y el efecto de magnitud, con la restricción de conservar las proporciones entre los productos para cada juez. Por lo que finalmente, las transformaciones Procrustes permiten mejorar la concordancia entre jueces y se

obtiene una configuración bi o tri-dimensional consenso o media más confiable en la etapa de integración de variables (Dijksterhuis, 1996).

#### 5.12.5. Análisis factorial múltiple (MFA)

El análisis factorial múltiple (MFA por sus siglas en inglés), fue desarrollado por Escofier y Pagès, (1992), es un método factorial adaptado al tratamiento de tablas de datos en las que un mismo conjunto de individuos se describe a través de varios grupos de variables. Los grupos de variables pueden surgir de la utilización conjunta de variables de diferente naturaleza, cuantitativas y cualitativas, del empleo de tablas que provienen de otras de tres dimensiones o del manejo de un mismo conjunto de variables medidas en distintos periodos de tiempo.

El MFA se basa en la metodología de PCA y actúa en 2 etapas:

1. A cada grupo de variables se asocia una configuración euclídea o nube de individuos denominada nube parcial, que será analizada por separado, obteniendo los factores parciales. Es decir, realiza un PCA de cada una de las tablas  $X_j$ , donde  $X_j$  recoge la valoración de las variables del grupo  $j, j = 1, 2, \dots, J$ , en el conjunto de individuos.
2. Realiza un PCA de la tabla global resultado de yuxtaponer las  $J$  tablas  $X_j$ . En este análisis cada tabla  $X_j$  es ponderada por el inverso del primer valor propio obtenido en el PCA de la propia tabla,  $1/\lambda_j$ . Esta ponderación mantiene la estructura de cada tabla, ya que todas las variables han recibido la misma ponderación, pero consigue equilibrar la influencia de los grupos, ya que la inercia máxima de cada una de las nubes de individuos, definida por los diferentes grupos, vale 1 en cualquier dirección.

El objetivo global del análisis es examinar la existencia de estructuras comunes a todas, o parte, de las nubes parciales (Fernández, *et al.*, 2002).

Una de las medidas globales de relación entre los grupos, se basa en el coeficiente  $R_v$  de Escoufier. Este coeficiente se obtiene a partir de los coeficientes de correlación lineal entre dos variables cualesquiera. Su valor está comprendido entre 0 (no existe relación entre las variables de los dos grupos considerados) y 1 (las nubes que representan a los grupos son iguales).

## CAPITULO 6

### 6. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 6.1. Material Experimental

Los productos evaluados para este trabajo fueron cervezas artesanales de malta de cebada de dos marcas, Tempus (Cervecería PRIMUS, México) y Minerva (Cervecería Minerva, Jalisco) y las cervezas artesanales de malta de maíz elaboradas en la UAM-I en el laboratorio de enología. Las características de las cervezas se describen a continuación:

TABLA 6.1. ESTILOS DE CERVEZAS.

MARCA	ESTILO	CARACTERÍSTICAS
<p><b>TEMPUS DORADA (TD)</b></p> 	Golden Ale	<p><b>Fermentación:</b> Ale.  <b>Porcentaje de alcohol:</b> 4.3% Alc.Vol.  <b>Olor:</b> afrutado como peras, naranjas o manzanas, bajo olor a alcohol y lúpulo. Sin olor a solventes ni a mantequilla.  <b>Sabor:</b> Afrutado, con suave aroma a malta. Baja intensidad de alcohol, gusto dulce de bajo a moderado. Amargor de medio a alto.  <b>Sensación en boca:</b> Muy carbonatada, cuerpo ligero a medio. Efervescente.  <b>Apariencia:</b> color amarillo-oro, transparente, gasificación de larga duración y espuma blanca.  <b>IBU's:</b> 22- 35  <b>SRM:</b> 3-6</p>
<p><b>TEMPUS ALT CLÁSICA (TC)</b></p> 	Altbier	<p><b>Fermentación:</b> Ale  <b>Porcentaje de alcohol:</b> 5.2% Alc.Vol.  <b>Olor:</b> olor sutil a malta, poco olor a lúpulo.  <b>Sabor:</b> Algo amargo pero equilibrado, suave malta dulce y ligeramente acaramelado. Ligeras notas azufradas y de poco a nada de ésteres.  <b>Sensación en boca:</b> Cuerpo medio, carbonatación de media a alta  <b>Apariencia:</b> Color cobrizo a café claro, transparente. Espuma blanca de baja a moderada cantidad con buena retención.  <b>IBU's:</b> 25-40  <b>SRM:</b> 13-19</p>

---

**TEMPUS DOBLE  
MALTA (TDM)**



Altbier Imperial

**Fermentación:** Ale

**Porcentaje de alcohol:** 7% Alc.Vol.

**Olor:** Olor intenso a malta y caramelo. Son aceptables olores secundarios a ahumado, aunque no siempre están presentes. Olores afrutados en baja intensidad así como olor a lúpulo.

**Sabor:** Intenso a malta y caramelo. Aroma a lúpulo y amargor va de bajo a medio. Aroma a mantequilla de bajo a nulo. El sabor a alcohol está presente.

**Sensación en boca:** Cuerpo medio a alto. Carbonatación media.

**Apariencia:** Color cobrizo a café oscuro con tonos rojizos. Transparente. Espuma poco persistente

**IBU's:** 25-52

**SRM:** 11-19

---

**TEMPUS RESERVA  
ESPECIAL (TRE)**



Scottish Ale

**Fermentación:** Ale

**Porcentaje de alcohol:** 6.1% Alc.Vol.

**Olor:** Olor sutil a lúpulo y malta. Olor frutal bajo.

**Sabor:** Mayor intensidad de amargor y aroma a lúpulo. Aroma a malta. Sin aroma a mantequilla.

**Sensación en boca:** Cuerpo medio, sensación de sequedad residual.

**Apariencia:** Color caramelo, transparente.

**IBU's:** 17-35

**SRM:** 14-25

---

**MINERVA  
COLONIAL CLARA  
(MCC)**



Kölsch

**Fermentación:** Ale

**Porcentaje de alcohol:** 5% Alc.Vol.

**Olor:** Bajo olor a malta, sutil aroma afrutado (manzana, cereza, pera). Poco olor a lúpulo. Ligeras notas azufradas.

**Sabor:** Suave aroma a malta y un casi imperceptible aroma frutal, poco amarga. Notas azufradas y a levadura. No alcoholica.

**Sensación en boca:** Cuerpo ligero a medio, gasificación de media a alta.

**Apariencia:** Color amarillo pálido a dorado, transparente y brillante. Espuma blanca poco persistente.

**IBU's:** 20-30

**SRM:** 3.5-5

---

**MINERVA VIENA  
(MV)**



Viena

**Fermentación:** Lager

**Porcentaje de alcohol:** 5% Alc.Vol.

**Olor:** Moderado olor a malta tostada. Olor a lúpulo en baja intensidad. No son aceptados los olores a ésteres afrutados ni olores a mantequilla.

**Sabor:** Aroma a malta y gusto poco amargo. Sabor a nuez y caramelo.

**Sensación en boca:** Cuerpo ligero a medio, gasificación media. Calentamiento debido al alcohol.

**Apariencia:** Color ámbar claro a rojizo, transparente y brillante. Espuma blanca y persistente.

**IBU's:** 18-30

**SRM:** 10-16

---

---

---

**MINERVA PALE  
ALE (MPA)**



India Pale Ale

**Fermentación:** Ale

**Porcentaje de alcohol:** 5% Alc.Vol.

**Olor:** Moderado olor floral y afrutado. Baja intensidad de olor a lúpulo.

**Sabor:** Aroma a lúpulo de medio a intenso, aromas florales y frutales. Niveles muy bajos de aroma a mantequilla son aceptables.

**Sensación en boca:** Cuerpo medio, gasificación media. Calentamiento debido al alcohol.

**Apariencia:** Color de dorada-ámbar a cobre claro, semiturbia. Espuma blanca y persistente.

**IBU's:** 40-60

**SRM:** 8-14

---

**MINERVA STOUT  
IMPERIAL (MSI)**



Imperial Stout

**Fermentación:** Ale

**Porcentaje de alcohol:** 6% Alc.Vol.

**Olor:** Rico y complejo a granos tostados, malta, ésteres, lúpulo y alcohol. Intenso aroma a café y/o chocolate

**Sabor:** Amargo de medio a intenso, moderadamente dulce.

**Sensación en boca:** Mucho cuerpo, carbonataciónbaja.

**Apariencia:** Color negro

**IBU's:** 50-90

**SRM:** 30-40

---

**CERVEZAS  
ARTESANALES DE  
MALTA DE MAÍZ**

Fermentación  
Ale

- Cerveza de malta de maíz rojo con chile y lúpulo. (MRCHL)
  - Cerveza de malta de maíz azul con chile y lúpulo. (MACHL)
  - Cerveza maíz azul con lúpulo (MAL)
  - Cerveza de maíz rojo con lúpulo (MRL)
  - Cerveza de maíz rojo con chile (MRCH)
  - Cerveza de maíz azul con chile (MACH)
- 
- 

**Nota:** SRM: medición de color, IBU's: Unidades Internacionales de Amargor.

## 6.2. Metodología Sensorial

Las descripciones sensoriales son de máximo interés para poder situar objetivamente productos en el mercado; para lograr una caracterización es necesario disponer de técnicas de evaluación objetivas y reproducibles de las características del producto. El análisis sensorial es una herramienta fundamental para caracterizar las cervezas artesanales en estudio y determinar diferencias entre ellas debidas a la materia prima y/o proceso tecnológico. La caracterización y comparación de la

cervezas artesanales tanto de malta de cebada y malta de maíz por medio de la metodología sensorial del Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA), la cual ya se ha descrito anteriormente. Las características sensoriales a evaluar y cuantificar son:

- Apariencia
- Olor
- Sabor: Gusto y aroma en boca
- Sensaciones en boca
- Consistencia

#### 6.2.1. Selección del Panel Sensorial

La selección de los jueces fue llevada a cabo en la Universidad Autónoma Metropolitana, para esto se realizaron pruebas de sensibilidad, y los jueces seleccionados cumplían con características como ser mayores de 18 años, preferencias por bebidas fermentadas alcohólicas no destiladas y habilidades sensoriales como capacidad para identificar características y sensaciones específicas en las cervezas, además por ser capaces de diferenciar distintas intensidades de estas en diversas ocasiones (Cruz Rodríguez, 2013).

El panel se conformó por 15 jueces, 8 mujeres y 7 hombres, de entre 20 y 32 años, de la Universidad Autónoma Metropolitana.

#### 6.2.2. Presentación de las muestras

Las muestras se presentaron a los jueces de la siguiente manera, cada una de las muestras de aproximadamente 40ml fueron servidas en copas de vidrio, a una temperatura de  $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Se evaluaron hasta un máximo de 3 muestras por sesión realizando 2 repeticiones de cada muestra. Las evaluaciones se realizaron durante 3 periodos, de abril- julio 2012, octubre- diciembre 2012 y febrero-marzo del 2013, en

el laboratorio de Análisis Sensorial (R-010) de la Universidad Autónoma Metropolitana. Estas evaluaciones se aplicaron con ayuda del software COMPUSENSE FIVE® (FCM™ 4.6).

### 6.2.3. Generación de atributos descriptivos

Para el desarrollo del lenguaje (atributos descriptivos), los jueces trabajan de forma individual y como grupo para acordar un lenguaje y el orden de los atributos, para esto, se presentaron diferentes muestras de cervezas de maíz y cervezas de cebada descritas anteriormente (Tabla 6.1), con el fin de establecer un “marco de referencia” para asegurar que los jueces están familiarizados con los productos. Estas muestras sirvieron para que los jueces describieran las características y sensaciones que percibían y generaran un amplio vocabulario relacionado con los productos que son de interés a evaluar.

Primero se trabaja de forma individual, para la generación de atributos para cervezas de maíz, se les proporcionó a los jueces un cuestionario que contenía atributos que ya habían generado en un producto similar llamado Sendechó (bebida fermentada de maíz de baja graduación alcohólica), para que marcaran el o los atributos que encontraran en las muestras de cerveza, además en el mismo cuestionario los jueces podían agregar nuevas características que encontraran en cada uno de los productos. El cuestionario se muestra en el ANEXO 1.

Para la generación de los términos para las cervezas de cebada, se presentan nuevas muestras al panel (cervezas de cebada) y un cuestionario que contuviera los términos ya generados (cervezas de maíz), y a su vez los jueces podían agregar nuevas características.

Una vez generado el vocabulario se trabaja sobre éste de manera grupal, llevando a cabo un consenso en donde se generaron las definiciones de cada atributo, se llegó a un acuerdo sobre los atributos que se iban a evaluar así como el orden en que estos se presentarían agrupándolos en 5 categorías (apariencia, olor, gusto, aroma en boca y sensaciones en boca), se eliminaron atributos que describen al producto

con las mismas palabras así como aquellos que no lo describen adecuadamente y se eligieron los que fueran representativos para los productos que se iban a evaluar, también se agruparon las palabras sinónimas llegando al acuerdo de renombrar algunos términos para que cada atributo tuviera el mismo significado para cada uno de los jueces. Durante esta etapa también se discutió el protocolo de evaluación, enseñando a los jueces el uso de la escala no estructurada, así como la forma de evaluación de los atributos, en especial de la categoría de apariencia.



FIGURA 6.1. ETAPA DE GENERACIÓN DE ATRIBUTOS Y CONSENSO

#### 6.2.4. Entrenamiento

Durante la etapa de entrenamiento, se lleva a cabo de forma individual en cubículos destinados para tal fin, los productos empleados para esta etapa son las mismas cervezas de la Tabla 6.1, aquí se continúa reafirmando los términos generados, aprendiendo sus definiciones así como el procedimiento de evaluación y el uso de la escala. Además se introducen referencias las cuales son estándares de la mayoría de los descriptores, especialmente de aquellos términos con mayores problemas de comprensión por parte de los jueces.

Algunos estándares se elaboraron con el kit de Siebel, el cual contiene aproximadamente 24 estándares con los aromas y sensaciones típicamente encontradas en cervezas, para los que no se encontraban en el kit de Siebel se emplearon productos que se asociaran al término definido, además las mismas cervezas sirvieron como referencia. En la tabla 6.2 se muestran los estándares empleados.

**TABLA 6.2. REFERENCIAS EMPLEADOS PARA LA ETAPA DE ENTRENAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LAS CERVEZAS DE MALTA DE MAÍZ Y CEBADA**

<b>DESCRIPTOR</b>	<b>REFERENCIA (número del kit de Siebel)</b>
Floral	Geraniol (013)
Plátano	Acetato de Isoamilo (015)
Afrutado	Hexanoato de etilo (10)
Manzana Verde	Acetaldehído (001)
Mantequilla	Diacetilo (005)
Maíz	Malta de maíz
Verduras cocidas	Dimetil disulfuro DMS (006)
Disolvente	Acetato de etilo (009)
Ácido	Ácido acético (002)
Amargo	Amargo (iso- $\alpha$ -ácidos de lúpulo) (022)
Rancio	Ácido butírico (004)
Quemado	"Papel" (trans-2-nonenal) (020)
Metálico	Sulfato ferroso amoniaco (012)
Frutas fermentadas	Fruta fermentada (Tepache)
Melaza	Mosto
Frutas cítricas	Jugo de naranja y toronja
Café	Café de grano
Cacao	Cerveza Bohemia Chocolate Stout
Caramelo	Sabor Caramelo
Piloncillo	Piloncillo
Picante	Cerveza "Chili beer"
Chile	Chile ancho seco
Nixtamal	Nixtamal
Tortilla	Tortilla
Lúpulo	Pellets de lúpulo
Levadura	Levadura para cerveza

Para la elaboración de las referencias del kit de Siebel se siguieron las instrucciones de este kit, para la dilución de los estándares se usó la cerveza Bud Light. El uso de estas referencias permite estandarizar el lenguaje que emplean los jueces y minimiza los malentendidos entre ellos.

En cuanto a las referencias empleadas para la categoría de apariencia, se acordó que para el atributo “color” y “color de espuma” se usaría la guía de color de la Standard Reference Method (SRM) (ANEXO 2), esta guía de color se toma de la BJCP y permite que el juez estime rápidamente el color de la muestra de cerveza en unidades de SRM. Para su uso se siguieron las instrucciones de uso indicadas en la guía de color de la BJCP (BJCP, 2013).

Para los atributos espuma, gasificación y turbidez se dieron como referencias imágenes de cervezas que ilustraran cada uno de estos atributos desde lo mínimo que podían encontrar a lo máximo (ANEXO 3).

La etapa de entrenamiento se realiza presentando a los jueces muestras de cerveza para la cuantificación de cada atributo generado, la presentación de las muestras es de forma monódica secuencial con codificación de 3 dígitos aleatorios. La hoja de evaluación contiene una lista de los atributos a calificar en el orden de aparición definido por el panel anteriormente. La intensidad de cada atributo se registra en una escala estructurada (Figura 5.2), las pruebas se realizaron con el programa COMPUSENSE FIVE® (FCM™ 4.6). Un ejemplo del cuestionario se presenta en el ANEXO 4.

#### 6.2.5. Selección de atributos representativos

Con los datos obtenidos durante la etapa de entrenamiento se realizaron pruebas para la determinación de los atributos representativos de las cervezas, es decir, con el fin de reducir el número de términos o atributos sensoriales, las cervezas evaluadas por los jueces durante las sesiones de entrenamiento se usaron para obtener la media geométrica y con esta determinar la importancia de los atributos y poder eliminar aquellos que no eran representativos de los productos y que, por lo tanto, los jueces no lograban discriminar. A continuación se describen el procedimiento.

Se calcula la media geométrica para cada descriptor.

$$M = \sqrt{F * I}$$

Dónde:

$$F = \frac{\text{Número de calificaciones diferentes de 0}}{\text{Número de jueces * número de productos}}$$
$$I = \frac{\text{Suma de las calificaciones}}{\text{Número de jueces * número de productos * 15}}$$

**M= Media geométrica, F= Frecuencia, I=Intensidad relativa**

Una vez obtenidos la media geométrica de cada atributo se realiza una sumatoria de todas las medias geométricas (todos los atributos) y se calcula el porcentaje de cada uno de ellos tomando como 100% a la sumatoria de las medias geométricas, posteriormente se calcula el porcentaje acumulado de cada atributo.

Se toma el criterio de las normas AFNOR (Asociación Francesa de Normalización), ya que no se cuenta con una norma mexicana para la selección de atributos sensoriales. De acuerdo a la AFNOR los atributos con menos de 10% acumulado son atributos que pueden ser descartados.

Este método hace posible tomar en cuenta, de la misma manera, atributos que son raramente mencionados pero que son muy importantes en cuanto a la intensidad percibida y atributos que se perciben en baja intensidad pero que se mencionan muchas veces (ISO-11035).

#### 6.2.6. Análisis de panel

Asimismo, con los datos del entrenamiento se lleva a cabo un análisis de panel, este tipo de análisis permite saber si los participantes son capaces de reconocer diferencias en todos los productos, establecer si algún término no está siendo entendido por algún juez o por el grupo en general, determinar si alguno de los

jueces no está contribuyendo con la diferenciación de las muestras y establecer la variabilidad de cada persona y su contribución a la interacción.

Los cálculos realizados fueron:

- Determinación del poder discriminatorio por juez (ANOVA por juez)
- Determinación de la distancia consenso para cada juez por cada atributo y por producto (medida de la distancia Euclidiana)
- Verificación de la forma en la que los jueces usan la escala

No importa que tan bueno haya sido el entrenamiento de los jueces, siempre hay diferencias individuales entre ellos y la forma como califican las muestras. Estas diferencias se relacionan con la sensibilidad de los jueces y el proceso cognitivo de la estimulación sensorial, esto también se debe a las distintas formas en que los jueces usan la escala, su habilidad para discriminar entre muestras debido a la falta de concentración o a la poca memoria sensorial (Naes, *et al.*, 2010).

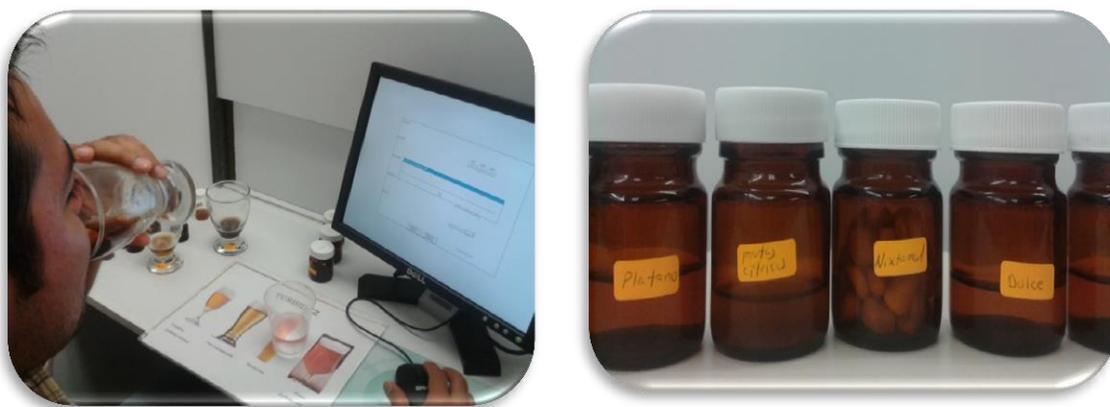


FIGURA 6.2. ETAPA DE ENTRENAMIENTO CON REFERENCIAS

### 6.2.7. Evaluación de productos

Una vez llevado a cabo la selección de atributos, así como el entrenamiento de los jueces verificando que fueran capaces de identificar el estímulo asociado con cada descriptor sin la necesidad de tener las referencias y compararlo, se realizó la evaluación de las cervezas de cebada y de maíz en las mismas condiciones en las que se llevaba a cabo el entrenamiento.



FIGURA 6.3. ETAPA DE EVALUACIÓN

### 6.2.8. Expresión de los datos numérica y gráficamente

Una vez que se cuenta con los resultados de la evaluación, los resultados son sometidos a un análisis estadístico. Primero se realiza un ANOVA por atributo con 2 factores (producto y juez) con interacción (producto-juez). Este análisis permite conocer aquellos atributos que son significativos y que ayudan a discriminar entre muestras, además de conocer si hay efecto del factor juez y/o de la interacción producto-juez para saber cuáles son los atributos donde los jueces emplean de forma diferente la escala o entienden y ocupan de manera distinta el vocabulario generado.

Para la etapa de entrenamiento se evalúan las muestras por medio del PCA, con el fin de conocer las características de cada tipo de muestra y decidir que muestras se evaluarán en la última etapa.

Finalmente y de acuerdo a los datos obtenidos de estos análisis, tanto de la etapa de entrenamiento como de la evaluación, se determina analizar los datos por medio del Análisis Procrustes Generalizado (GPA). Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el programa XLSTAT (*Addinsoft*).

### 6.3. Mediciones instrumentales

Se llevaron a cabo diversas mediciones instrumentales como la identificación y cuantificación de compuestos volátiles por medio de cromatografía de gases, medición de antocianinas totales, polifenoles totales y capacidad antioxidante, con el fin de caracterizar las cervezas de malta de cebada y de maíz. Se realizaron dos repeticiones para cada uno de los productos (cervezas de cebada y de maíz) para cada determinación instrumental.

#### 6.3.1. Análisis de los compuestos volátiles por cromatografía de gases

El análisis de los compuestos volátiles se llevó por medio de la cromatografía de gases, esta se realizó en dos etapas, una de identificación de compuestos y otra de cuantificación. Debido a que existe una gran variedad de compuestos formados por la levadura durante el proceso de fermentación de la cerveza, la metodología empleada fue válida sólo para aquellos compuestos que más contribuyen al aroma de la cerveza.

#### **Identificación de compuestos**

La identificación de los compuestos volátiles se realiza en el cromatógrafo de gases acoplada al espectrómetro de masas, el cromatógrafo empleado fue HP-6890, y el espectrómetro de masas 5975B VL MSD Agilent Technologies.

## Cuantificación de compuestos

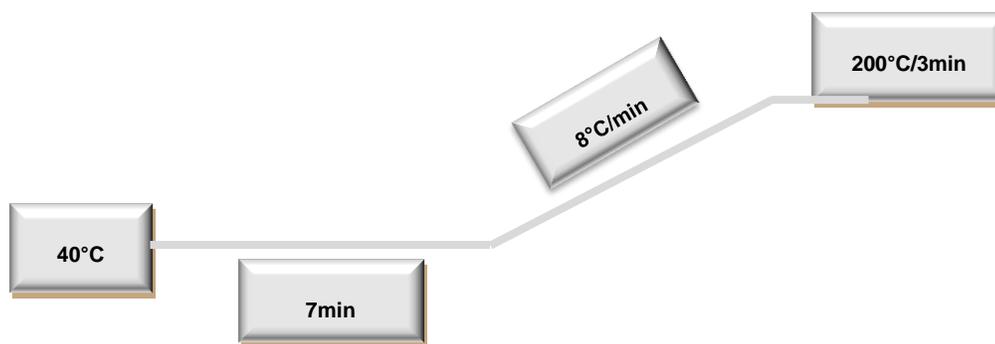
Una vez identificados los compuestos volátiles, se realizó la cuantificación de los mismos inyectando estándares de concentración conocida.

Las condiciones cromatográficas tanto para la identificación como para la cuantificación de los compuestos fueron las siguientes (Tabla 6.3):

**TABLA 6.3. CONDICIONES CROMATOGRÁFICAS (GC/MS/FID)**

Condiciones	Detalles
Cromatógrafo de gases	HP-6890
Detector	Espectrómetro de masas 5975B VL MSD
Columna	Capilar HP-5 (30m largo x 250mm diámetro x 0.25mm espesor película) No polar
Modelo	Agilent 19091s-433
Fase estacionaria	5% de Fenil, 95%dimetil-Polisiloxano
Fibra SPME	DVB /CAR/ PDMS
Temperatura puerto de inyección	250°C
Temperatura detector	250°C
Flujo inicial	1.6ml/min
Modo	Splitless
Gas acarreador para GC/MS	Helio
Gas para GC cuantificación	Nitrógeno

### Rampa de temperatura



Tiempo total de corrida	30min
-------------------------	-------

### 1. Preparación de las muestras.

En cada uno de los viales se agregaron 2g de NaCl con el fin de mejorar la eficiencia de la extracción, y se les adicionaron 15ml de la muestra de cerveza, esta se encontraba a una temperatura de  $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Las muestras se agitaron con un vortex por 1 min.



### 2. Extracción.

Para la extracción de los compuestos volátiles se empleó una fibra SPME de DVB/CAR/PDMS marca Supelco Analytical de Sigma-Aldrich, las muestras se pusieron en baño maría a  $35^{\circ}\text{C}$  y el tiempo de exposición de la fibra al espacio de cabeza (HS) fue de 30min.



### 3. Desorción.

Una vez terminada la extracción, la fibra se llevó al inyector, donde se lleva a cabo la desorción de los analitos, el tiempo de desorción fue de 15min.



#### 6.3.2. Antocianinas totales

La determinación de antocianinas totales se realizó por el método de diferencial de pH. Este método se basa en las transformaciones estructurales que las antocianinas sufren con el cambio en el pH. A pH 1.0 las antocianinas existen en la forma de ion oxonio o flavilio muy coloreado y a un pH de 4.5 predominan en la forma carbinol que es incoloro (Figura 6.4).

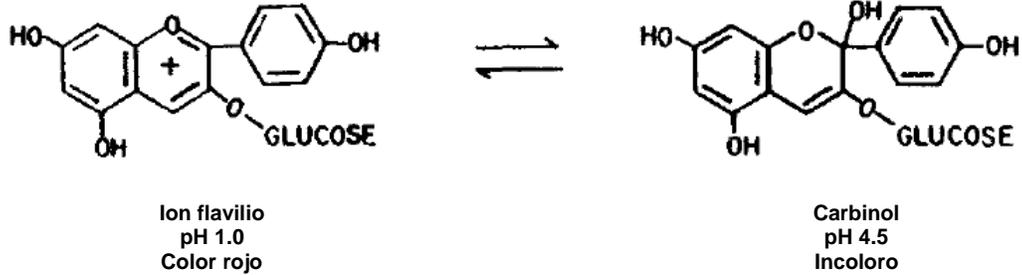


FIGURA 6.4. TRANSFORMACIONES ESTRUCTURALES DE LAS ANTOCIANINAS CON EL CAMBIO DE PH

El método se basa en estos cambios midiendo a la absorbancia a la máxima longitud de onda a un pH de 1.0 y a pH de 4.5. La diferencia de las absorbancias será proporcional al contenido de antocianinas totales (Wrolstad, 1992).

Para su medición se prepararon las siguientes soluciones:

- Solución amortiguadora de KCl-HCl a pH 1.0
- Solución amortiguadora de acetatos a pH 4.5

Para la determinación se toma 1ml de la muestra de cerveza y se afora a 5ml con la solución a pH 1.0, se mide la absorbancia a 520nm y a 700nm. Por otro lado, se toma 1ml de la misma muestra de cerveza y se afora a 5ml ahora con la solución a pH 4.5, se mide la absorbancia a 520nm y 700nm el equipo usado fue un espectrofotómetro UV-visible Spectronic BioMate3 (Thermo Electron Corporation).

Este procedimiento se realiza para cada una de las muestras de cerveza analizadas.

Para calcular la concentración de antocianinas totales (mg/L) se realizan los siguientes cálculos:

$$\Delta A: (Abs_{pH\ 1.0}^{520} - Abs_{pH\ 1.0}^{700}) - (Abs_{pH\ 4.5}^{520} - Abs_{pH\ 4.5}^{700})$$

$$\text{Concentración } \left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{A \cdot 10^3 \cdot PM \cdot FD}{E \cdot l}$$

Dónde:

$\Delta A$ : diferencia de absorbancias

L: Litro

$l$ : longitud de celda

$\varepsilon$ : coeficiente de extinción molar

PM: peso molecular de la antocianina

FD: Factor de dilución

La concentración se expresa en mg equivalentes de la antocianina de mayor abundancia en la muestra (cianidina o pelargonidina) por litro de muestra (mg/L).

### 6.3.3. Compuestos fenólicos totales

La determinación de los compuestos fenólicos totales se llevó a cabo con el procedimiento descrito por Singleton y Rossi Jr, mediante el reactivo de Folin-Ciocalteu (Singleton, *et al.*, 1965).

Se prepararon las siguientes soluciones:

- Solución de carbonato de sodio al 20% (p/v): En medio litro de agua previamente hervida y enfriada a temperatura ambiente, se disuelven 100g de carbonato sódico anhidro.
- Solución patrón de fenol: se disuelven 0.5g de ácido gálico en agua y se afora a 100ml.

Para la obtención de la curva patrón: se toman 0.0, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0 y 10.0 ml de la solución patrón de fenol en otros matraces volumétricos de 100ml y se aforan con agua. La concentración de fenol de estas disoluciones (expresada en equivalentes de ácido gálico) es de 0.0, 50, 100, 150, 250 y 500 mg/L. De cada disolución se toma 1ml y se vierte en un matraz volumétrico de 100ml, se añade a cada uno 60ml de agua, se agita, se añaden 5ml de reactivo Folin-Ciocalteu y se mezcla, después de 30s y antes de 8min se añaden 15ml de la solución de carbonato sódico al 20%, se mezcla y se afora con agua. Se deja actuar durante 2h a 24°C y se determina la

absorbancia de cada disolución frente al blanco (agua) a 765 nm el equipo usado fue un espectrofotómetro UV-visible Spectronic BioMate3 (Thermo Electron Corporation). Se representa la absorbancia frente a la concentración. Finalmente la concentración se expresa en mg de ácido gálico por litro (Amerine, *et al.*, 1976).

#### 6.3.4. Capacidad antioxidante

La determinación de la capacidad antioxidante se realizó por el método de DPPH (difenil-picril-hidrazilo). Este método se basa en el uso del radical libre estable DPPH, este se caracteriza por ser un radical libre en virtud de la deslocalización de un electrón dentro en la molécula, sin que esta molécula se dimerise, como en el caso de otros radicales libres. La deslocalización da lugar a un color violeta cuando se encuentra en una solución de etanol, la cual puede ser medida espectrofotométricamente a 520nm. Cuando la solución de DPPH se mezcla con alguna sustancia que done un átomo de hidrógeno, la molécula de DPPH se reduce perdiendo el color violeta y pasando a un color amarillo pálido. La reacción principal se ilustra a continuación (Figura 6.5).

Si representamos a la molécula donadora como AH y al radical DPPH como Z°, entonces:

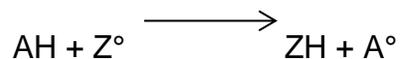
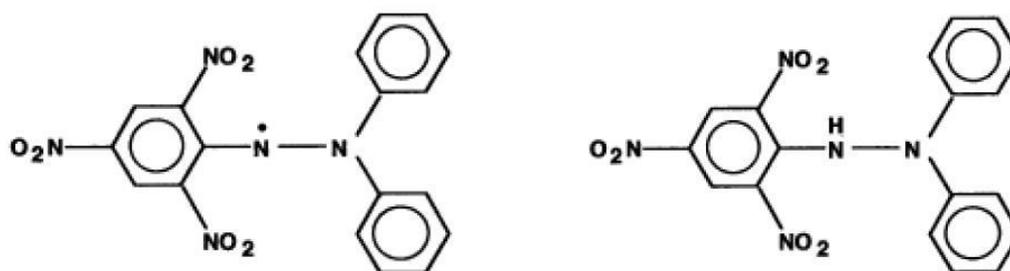


FIGURA 6.5 REACCIÓN DEL RADICAL DPPH

Donde ZH es la forma reducida y A° es el radical libre producido en el primer paso. El número de moléculas reducidas de DPPH equivalen a una molécula del compuesto reductor (Figura 6.6) (Molyneux, 2004).



A) DPPH como radical libre

B) DPPH reducido

FIGURA 6.6. DPPH COMO RADICAL LIBRE (A) Y EN SU FORMA REDUCIDA (B)

Para la obtención de la curva patrón se toman 2mg de ácido gálico y se aforan a 10ml con agua. Se hacen las diluciones (50:50) necesarias para tener mínimo 5 puntos.

- Preparación del radical DPPH 1mM: se pesan 3.9mg de DPPH y se aforan a 100ml con metanol al 80%.
- Preparación de la muestra: se toma 0.1ml de la muestra de cerveza, se añade 2.9ml de DPPH, se agita y se mantienen en la oscuridad por 30min.

Se mide la absorbancia de la solución de DPPH a los 0min a 517nm y pasados los 30min se mide la absorbancia de las muestras, se toma como blanco metanol al 80%. La medición se realizó en un espectrofotómetro UV-visible Spectronic BioMate3 (Thermo Electron Corporation) con celdas de cuarzo de 1cm.

Con la curva patrón se calcula la concentración de  $\mu\text{g}$  de ácido gálico equivalentes. Además se calcula el % de inhibición de la siguiente manera:

$$\% \text{Inhibición} = \frac{A - A_1}{A} * 100$$

Dónde:

A: Absorbancia de la muestra

A1: Absorbancia de la solución de DPPH

## CAPITULO 7

### 7. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

#### 7.1 Análisis sensorial de cervezas de cebada y de maíz

##### 7.1.1 Selección del panel sensorial

Para esta etapa se retomó un panel sensorial que había sido previamente seleccionado para la evaluación de la bebida Sendechó, además a este panel se le había entrenado para cata de cervezas artesanales para el desarrollo del tema de especialidad titulado “Desarrollo de un vocabulario de evaluación sensorial para Sendechó y Cerveza de maíz” (Cruz Rodríguez, 2013).

El panel estuvo conformado por 15 jueces, 8 mujeres y 7 hombres, de entre 20 y 32 años, todos estudiantes de nivel licenciatura y maestría, de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.

##### 7.1.2 Generación de atributos descriptivos

La generación de atributos se realizó en dos etapas, durante la primera se les presentó a los jueces muestras de las cervezas de maíz (Tabla 7.1), los jueces generaron vocabulario sobre estas cervezas.

**TABLA 7.1. CERVEZAS DE MAÍZ ANALIZADAS PARA LA GENERACIÓN DE ATRIBUTOS**

---

---

Cervezas artesanales de malta de maíz elaborada en la UAM-Iztapalapa	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cerveza de malta de maíz rojo con chile y lúpulo. (MRCHL)</li><li>• Cerveza de malta de maíz azul con chile y lúpulo. (MACHL)</li><li>• Cerveza maíz azul con lúpulo (MAL)</li><li>• Cerveza de maíz rojo con lúpulo (MRL)</li><li>• Cerveza de maíz rojo con chile (MRCH)</li><li>• Cerveza de maíz azul con chile (MACH)</li></ul>
--	--

---

El vocabulario generado para esta etapa consistió de 59 atributos, 4 para apariencia, 29 para olor, 4 para gusto, 18 para aroma en boca, 3 para sensaciones en boca y 1 para consistencia, el vocabulario generado se muestra en el Anexo 5.

Para la segunda etapa de generación de atributos se les presentó a los jueces las cervezas de malta de cebada, el cuestionario incluía los términos generados anteriormente (Anexo 5), el panel añadió nuevos atributos obteniendo 64 atributos, 6 para apariencia, 32 para olor, 4 para gusto, 20 para aroma en boca, 3 para sensaciones en boca y 1 para consistencia, el vocabulario se muestra en el Anexo 6.

Una vez que el panel generó un vocabulario acorde a los productos presentados, se realizaron sesiones de consenso durante las cuales además de enseñarles la forma de evaluación y uso de la escala, el panel como grupo debatió sobre el vocabulario generado anteriormente y decidieron cuales son los atributos que describen mejor a los productos, en esta etapa, se eliminaron términos que el panel consideró no se encontraban en los productos, se renombraron algunos para facilitar la comprensión de los mismos y se agruparon los que el panel consideraron eran sinónimos y/o repetitivos.

Finalmente, para esta etapa los atributos seleccionados por el panel después de las sesiones de consenso, fueron definidos por los mismos jueces (Anexo 7).

Durante estas sesiones se acordó evaluar el color de la cerveza y espuma con la carta de medición de color de la SRM (Anexo 2), que miden la intensidad de color a una determinada longitud de onda (430nm) al atravesar ½ pulgada de cerveza. Los valores numéricos no siempre coinciden con la percepción visual del matiz del color, por ello se da una descripción del mismo a continuación (Tabla 7.2) (BJCP, 2013):

**TABLA 7.2. DESCRIPCIÓN DE LA CARTA DE COLOR DE LA SRM**

<b>Descripción del color</b>	<b>Valor SRM</b>
Muy claro	0-1
Paja	2-3
Pálido	4
Oro	5-6
Ámbar claro	7
Ámbar	8
Ámbar medio	9
Cobrizo	10-12
Café claro	13-15
Café/ café rojizo/castaño	16-17
Café oscuro	18-24
Muy oscuro	25-39
Negro	40+

### 7.1.3 Entrenamiento

Durante la etapa de entrenamiento se les proporcionó a los jueces una serie de referencias de los atributos generados en la etapa anterior (Tabla 6.2) con el fin de que aprendieran y memorizaran cada uno de los conceptos. En esta etapa los jueces lograron la conceptualización de los atributos pudiendo relacionar el estímulo sensorial con cada descriptor.

Para el entrenamiento se realizaron evaluaciones de los productos de interés, primero se llevó a cabo las evaluaciones de las cervezas de maíz descritas anteriormente (Tabla 7.1) y posteriormente se evaluaron las cervezas de cebada, las cervezas etiquetadas como MRL Y MACH resultaron ser poco estables ya que algunas muestras mostraron signos de contaminación tal vez debido a bacterias ácido-lácticas o ácido-acéticas, ya que estas presentaban un intenso sabor ácido y agrio, por lo que no se pudieron realizar las repeticiones de estos productos, descartándolas del estudio.

Los datos obtenidos en esta etapa se analizaron de la siguiente manera:

- Para cada uno de los descriptores o atributos, se realizó un ANOVA de dos factores (muestra, juez e interacción muestra-juez) con el fin de monitorear al panel, saber la forma en cómo evalúan, además de conocer los atributos significativos que permiten discriminar entre muestras.
- Se realizó un PCA, con el fin de conocer las características de cada producto y con éste determinar qué cervezas de maíz tienen características similares a las de cebada y poderlas emplear en la evaluación final. Éste estudio nos permite a su vez evaluar a los jueces para determinar el tipo de análisis con el que se evaluarán los datos finalmente.

Los resultados del ANOVA de las cervezas de maíz se muestran en la tabla 7.3, se observan los atributos en los cuales existe diferencias significativas tanto en el factor producto, el factor juez así como la interacción producto-juez (valor-p<0.05).

**TABLA 7.3. ANOVA PARA DESCRIPTORES DE CERVEZA DE MALTA DE MAÍZ ( $\alpha<0.05$ )**

DESCRIPTOR	PRODUCTO	JUEZ	PRODUCTO-JUEZ
	Valor-p	Valor-p	Valor-p
Floral (o)	<b>0.013</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0.000</b>
Plátano (o)	<b>0.007</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0.033</b>
Afrutado (o)	0.236	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0.037</b>
Manzana verde (o)	<b>0.030</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
Mantequilla (o)	<b>0.041</b>	<b>0.000</b>	0.493
Levadura (o)	0.230	<b>&lt; 0,0001</b>	0.063
Maíz dulce (o)	0.098	<b>&lt; 0,0001</b>	0.481
Maíz cocido (o)	<b>0.009</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0.007</b>
Verduras cocidas (o)	<b>0.002</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0.001</b>
Melaza (o)	0.291	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0.002</b>
Nixtamal (o)	0.134	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
Frutas fermentadas (o)	<b>0.006</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0.000</b>
Chile (o)	<b>0.007</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0.001</b>
Alcohol (o)	0.234	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0.003</b>
Disolvente (o)	<b>0.044</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0.000</b>
Dulce (g)	0.272	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
Salado (g)	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
Amargo (g)	0.383	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
Acido (g)	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	0.228

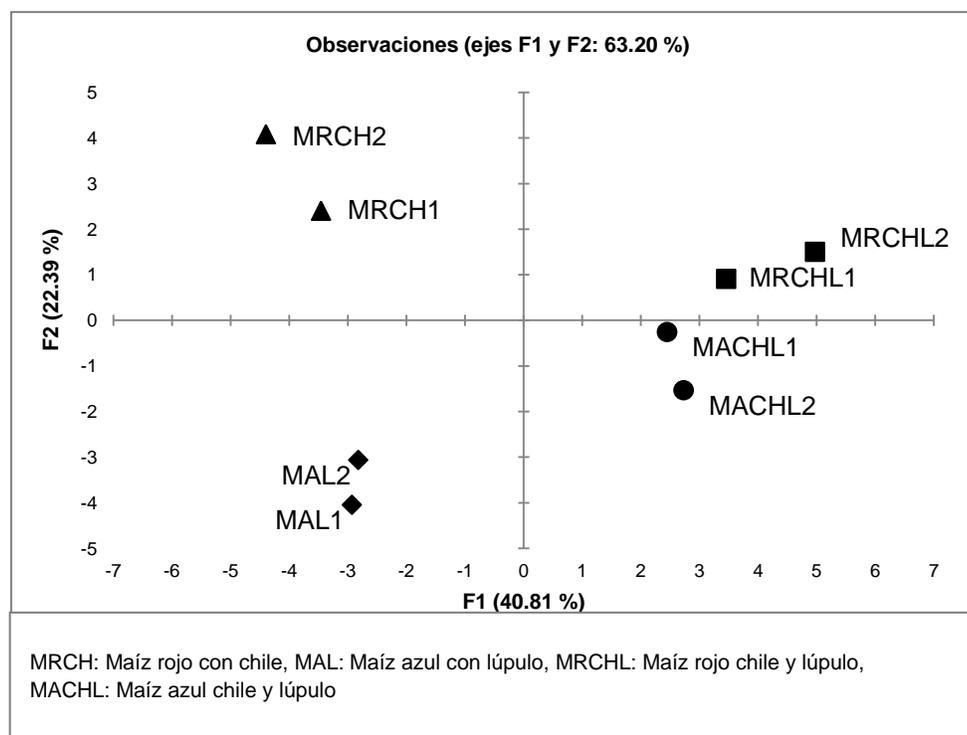
Frutas cítricas (a)	0.169	< 0,0001	0.008
Manzana verde (a)	0.000	< 0,0001	0.012
Maíz cocido (a)	0.011	< 0,0001	< 0,0001
Lúpulo (a)	< 0,0001	< 0,0001	0.012
Vegetales cocidos (a)	0.011	< 0,0001	0.001
Picante (s)	< 0,0001	0.003	0.060
Tortilla (a)	0.210	< 0,0001	0.000
Metálico (s)	0.019	< 0,0001	< 0,0001
Astringente (s)	0.064	< 0,0001	0.095
Carbonatación (s)	0.965	< 0,0001	< 0,0001
Cuerpo (c)	0.058	< 0,0001	0.019

**Nota:** Los valores-p prueban la significancia estadística de cada uno de los factores.

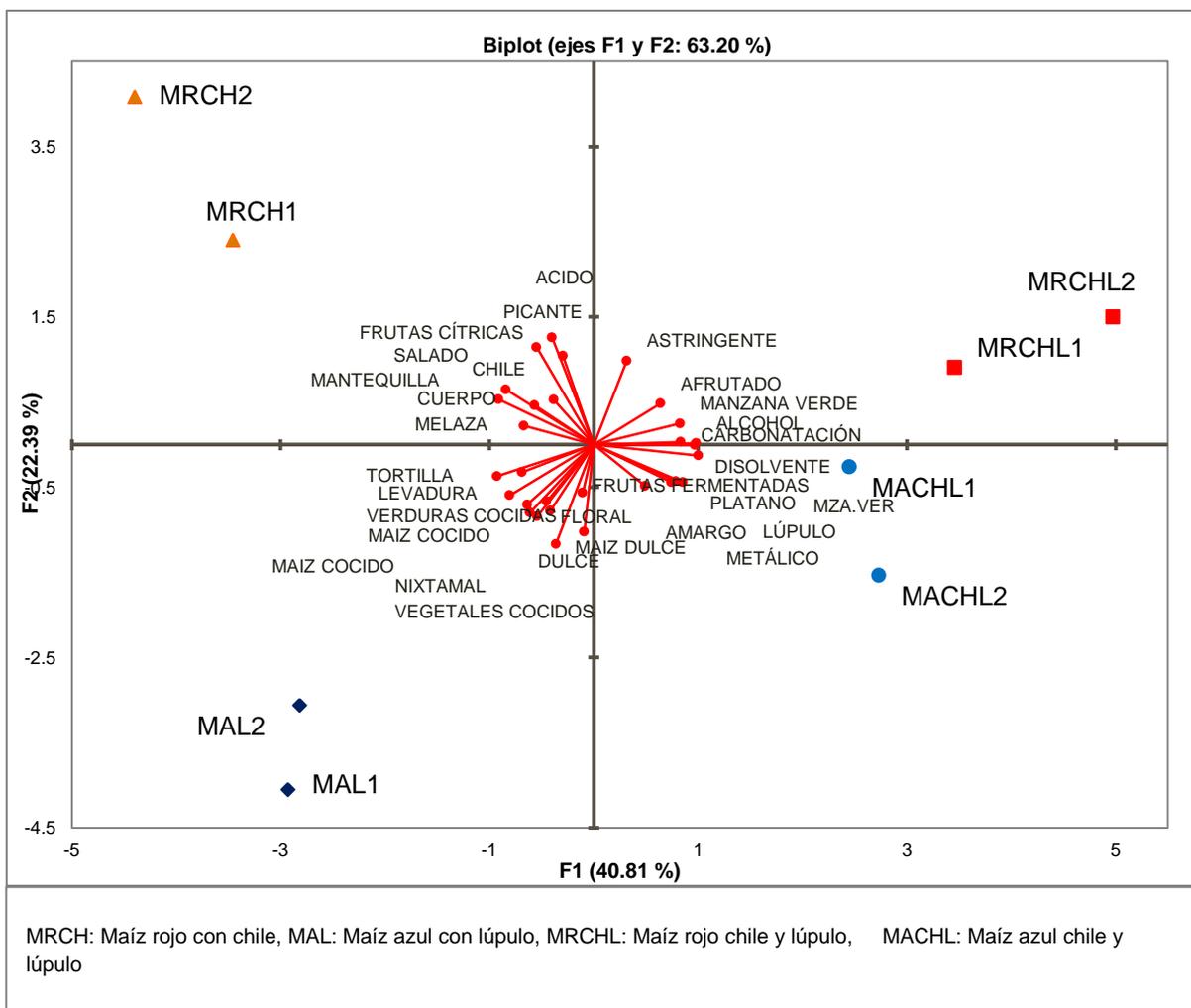
Los valores-p<0.05 tienen un efecto estadísticamente significativo sobre cada atributo con un 95% de confianza.

Los gráficos de PCA generados para estos productos se muestran en las gráficas 7.1 y 7.2.

GRÁFICA 7.1. GRÁFICA DE SCORES DE LOS PRIMEROS COMPONENTES PRINCIPALES (63.20%) CERVEZAS DE MALTA DE MAÍZ



GRÁFICA 7.2. GRÁFICA DE LOADINGS Y SCORES DE LOS PRIMEROS COMPONENTES PRINCIPALES (63.2%),  
CERVEZAS DE MALTA DE MAÍZ



De acuerdo a los resultados anteriores se observa que para el componente 1 (F1) que explica el 40.81% de la variabilidad separa los productos entre aquellas cervezas que tienen combinación de chile con lúpulo (MACHL y MRCHL) de aquellas que no las tienen (MAL y MRCH). Por otro lado, el componente 2 (F2) que explica el 22.39% de la variabilidad separa las cervezas por tipo de maíz utilizado.

Los atributos asociados al F1 hacia el lado positivo (derecho) son las características que distinguen a las cervezas elaboradas con combinación chile y lúpulo, entre estas

tenemos olor afrutado, manzana verde, alcohol, aroma a lúpulo, sensaciones metálicas entre otros, estas características son similares a las que encontramos en una cerveza común elaborada de malta de cebada, por lo que se puede notar una similitud entre estas cervezas de maíz con las de cebada. Para los atributos asociados al F1 pero del lado negativo, encontramos aquellas características que distinguen a las cervezas que no tiene la combinación chile-lúpulo (MAL y MRCH), entre estas características se encuentran olor a maíz cocido, a tortilla, nixtamal, levadura, estos atributos nos indican que estos dos tipos de cerveza conservan más olores y aromas al maíz, atributos que no se encuentran en una cerveza de cebada o que generalmente si se llegan a encontrar se asocian a defectos en el producto. Sin embargo para estos productos en específico, estos aromas y sabores son una cualidad ya que son propios de la materia prima.

Los atributos asociados al F2, que nos separa las cervezas por tipo de maíz utilizado en su elaboración (azul o rojo), los que se encuentran hacia el lado positivo (superior) distinguen a las cervezas elaboradas con maíz rojo (MRCH y MRCHL), entre estos atributos se encuentran el olor afrutado, aroma a frutas cítricas, sensaciones picante y astringente entre otros, y aquellos que se encuentran hacia el lado negativo (inferior), distinguen las cervezas elaboradas con maíz azul (MAL y MACHL), como maíz dulce, vegetales cocidos, dulce, etcétera.

Los atributos o variables más importantes con las cuales es posible la diferenciación de los 4 productos se muestran en la tabla 7.4.

**TABLA 7.4. ATRIBUTOS SIGNIFICATIVOS PARA LA DIFERENCIACIÓN DE LAS CERVEZAS DE MALTA DE MAÍZ ( $\alpha < 0.05$ )**

<b>COMPONENTE PRINCIPAL</b>	<b>ATRIBUTO</b>	<b>COEFICIENTE</b>	
F1	Plátano (o)	0.749	
	Afrutado (o)	0.609	
	Maíz Azul Chile y Lúpulo(MACHL)	Manzana verde (o)	0.787
		Alcohol (o)	0.934
	y Maíz Rojo Chile y Lúpulo (MRCHL)	Disolvente (o)	0.922
		Manzana verde (a)	0.955
	Lúpulo (a)	0.815	
	Metálico (s)	0.707	
	Carbonatación (s)	0.794	
	Maíz Azul Lúpulo (MAL)	Mantequilla(o)	-0.866

	y	Levadura (o)	-0.654
	Maíz Rojo Chile (MRCH)	Verduras cocidas (o)	-0.765
		Tortilla (o)	-0.880
		Salado (g)	-0.801
		Maíz cocido (a)	-0.582
		Vegetales cocidos (a)	-0.606
		Cuerpo (s)	-0.539
	Maíz rojo chile (MRCH)	Ácido (g)	0.887
	y	Frutas cítricas (a)	0.737
	Maíz rojo chile lúpulo (MRCHL)	Picante (s)	0.808
F2		Astringente (s)	0.693
	Maíz azul lúpulo (MAL)	Floral (o)	-0.545
	Y	Maíz dulce (o)	-0.720
	Maíz azul chile lúpulo (MACHL)	Nixtamal (o)	-0.593
		Dulce (g)	-0.823

**Nota:** o:olor, a:aroma en boca, g:gusto, s:sensaciones en boca

Por lo tanto para las siguientes evaluaciones se decidió utilizar las cervezas de maíz que más semejanza tuvieran con las características de las cervezas de cebada, eligiendo las que fueron elaboradas con una combinación de chile y lúpulo tanto de maíz azul como maíz rojo (MACHL y MRCHL).

Los datos obtenidos de las cervezas de cebada (cervezas marca Tempus y Minerva Tabla 6.1) se muestran a continuación; para la evaluación de estas cervezas se eliminaron algunos atributos que los jueces no encontraban en este tipo de cervezas y se añadieron algunos otros términos que eran más representativos de estos productos.

Los resultados del ANOVA para los descriptores de las cervezas de cebada se muestran en la tabla 7.5

**TABLA 7.5. ANOVA PARA DESCRIPTORES DE CERVEZA DE MALTA DE CEBADA ( $\alpha < 0.05$ )**

DESCRIPTOR	PRODUCTO	JUEZ	PRODUCTO-JUEZ
	Valores-P	Valores-P	Valores-P
Floral (o)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Plátano (o)	0.147	< 0,0001	< 0,0001
Afrutado (o)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Manzana verde (o)	0.025	< 0,0001	< 0,0001
Mantequilla (o)	0.004	< 0,0001	< 0,0001
Levadura (o)	0.732	< 0,0001	< 0,0001

Maíz dulce (o)	0.712	< 0,0001	0.003
Maíz cocido (o)	0.344	< 0,0001	< 0,0001
Verduras cocidas (o)	0.424	< 0,0001	0.020
Melaza (o)	0.005	< 0,0001	0.036
Alcohol (o)	0.091	< 0,0001	0.000
Disolvente (o)	0.002	< 0,0001	< 0,0001
Café (o)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Cacao (o)	< 0,0001	< 0,0001	0.001
Caramelo (o)	0.725	< 0,0001	0.000
Dulce (g)	0.002	< 0,0001	< 0,0001
Salado (g)	0.008	< 0,0001	0.001
Amargo (g)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Acido (g)	0.001	< 0,0001	< 0,0001
Frutas cítricas (a)	0.015	< 0,0001	0.049
Manzana verde (a)	0.586	< 0,0001	0.014
Maíz cocido (a)	0.160	< 0,0001	0.001
Lúpulo (a)	< 0,0001	< 0,0001	0.000
Vegetales cocidos (a)	0.292	< 0,0001	0.007
Rancio (a)	0.110	< 0,0001	0.008
Café (a)	< 0,0001	< 0,0001	0.020
Cacao (a)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Quemado (a)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Metálico (s)	0.019	< 0,0001	0.010
Astringente (s)	0.181	< 0,0001	< 0,0001
Carbonatación (s)	0.034	< 0,0001	0.002
Cuerpo (c)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

**Nota:** Los valores-p prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Los valores-p < 0.05 tienen un efecto estadísticamente significativo sobre cada atributo con un 95% de confianza.

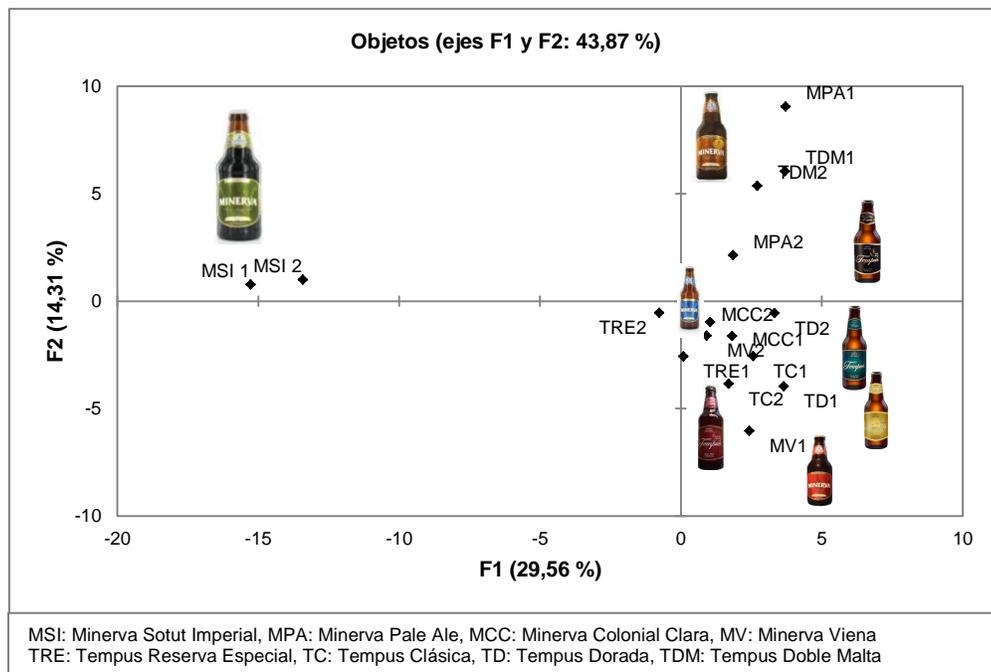
Para cada uno de los atributos sensoriales, el factor juez resultó significativo ( $p < 0.0001$ ) tanto para cervezas de maíz como de cebada, por lo que se puede inferir que los jueces están empleando la escala de diferente manera, ya sea que algunos jueces estén invirtiendo los productos, en comparación con el resto del panel, es decir, que para cada atributo algún producto sea percibido como más intenso que otro producto, mientras que para el panel en general perciba lo opuesto (interacción cruzada). Los jueces también podrían tener confusión con la magnitud del atributo en cada producto, pudiendo algunos de los jueces evaluar la magnitud de algún atributo

más baja o más alta en contraste con la diferencia detectada por el panel completo. Además el factor producto-juez también resultó significativo por lo que se deduce que los jueces entienden y emplean el vocabulario de manera distinta, ocupando diferentes atributos para diferenciar las muestras.

En cuanto al factor “producto”, encontramos diferencias significativas en al menos uno de los productos evaluados en los descriptores que resultaron significativos ( $p>0.05$ ).

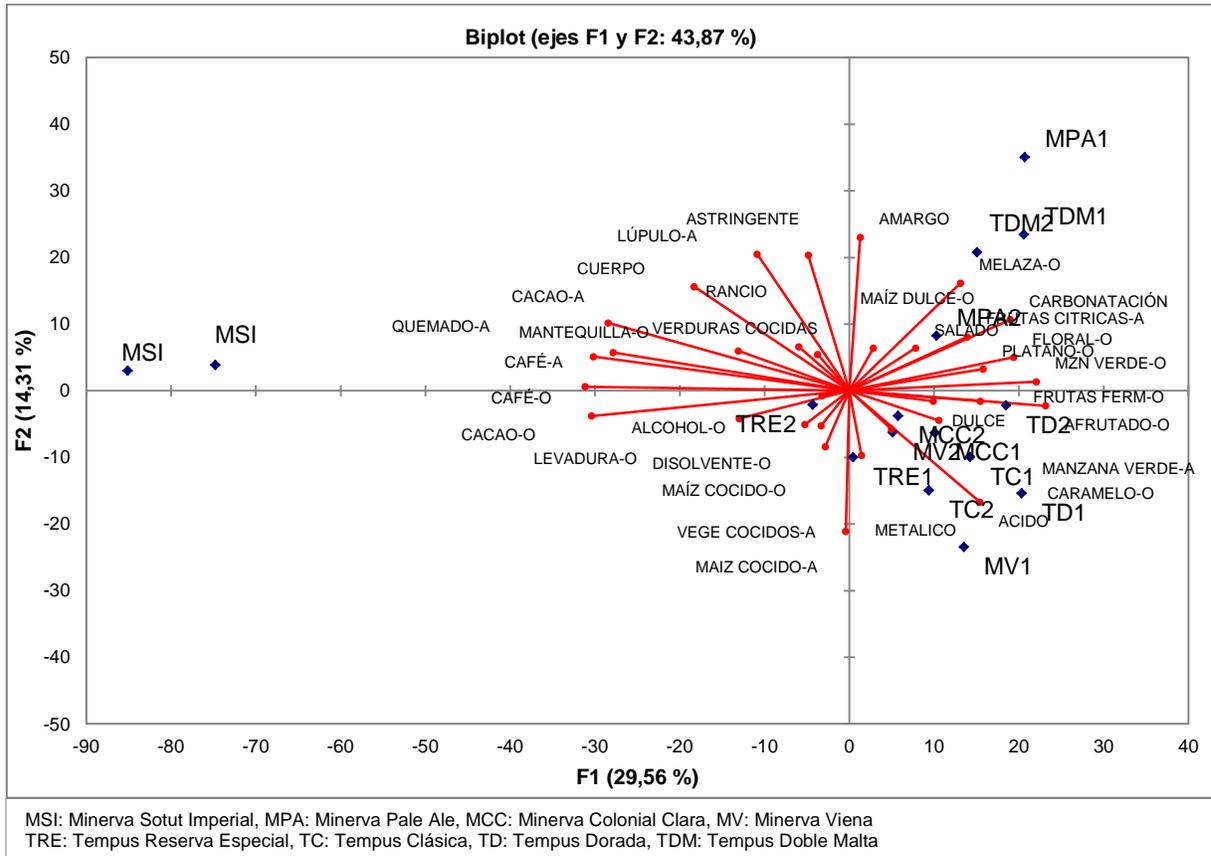
Al analizar la forma de evaluar del panel se determinó llevar a cabo un análisis GPA con el fin de reducir los efectos de interpretación y de escala. Los resultados del GPA fueron los siguientes (Gráficas 7.3 y 7.4).

GRÁFICA 7.3. GRÁFICA DE SCORES DE LOS PRIMEROS COMPONENTES PROCRUSTES (43.8%), CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA



Para el análisis de las gráficas Procrustes, las distancias entre los productos reflejan las relaciones entre ellos. Los productos más cercanos son similares, mientras que los objetos más alejados son diferentes.

GRÁFICA 7.4. GRÁFICA DE LOADINGS Y SCORES DE LOS PRIMEROS COMPONENTES PROCRUSTES, CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA



La variabilidad explicada por los dos primeros componentes F1 y F2 es del 43.87%. El componente F1 que explica el 29.56% de la variabilidad, separa los productos en dos “categorías”, del lado positivo (derecho) se encuentran las cervezas TD, TC, TRE, MV, MCC, MPA y TDM, las cuales de acuerdo a su estilo de cerveza, son productos más ligeros y refrescantes, de colores dorados-ámbar-caramelos; los atributos correlacionados con este tipo de cervezas son, olor floral, plátano, afrutado, manzana verde, frutas fermentadas, gusto ácido y sensación de mayor carbonatación, todos estos atributos son característicos de este estilo de cervezas. Del lado negativo del F1 (izquierdo) se encuentra la cerveza MSI, la cual es una cerveza que por su estilo, presenta un color oscuro, cuyos atributos característicos

son olor y aroma a café, a cacao, aroma a quemado y sensación de mayor cuerpo, características que coinciden con el estilo de cerveza evaluada (Gráfica 7.4).

Mientras que el componente F2 que explica el 14.31% de la variabilidad, permite separar las cervezas MPA, TDM y MSI, ubicándolas en la parte superior de la gráfica (Gráfica 7.4), estos tres tipos de cervezas tienen en común, de acuerdo a los estilos con los que están elaboradas, ser cervezas con mayor gusto amargo, mayor cuerpo. Los atributos correlacionados a estas cervezas son: olor a melaza, aroma a lúpulo, gusto amargo y sensación astringente. Del lado negativo del F2 (inferior), encontramos a las cervezas TD, TC, TRE, MV, MCC, las cuales son más similares entre sí, distinguiéndose el aroma a maíz cocido y gusto ácido. Estas últimas son cervezas son las más “ligeras” en cuanto a sabores y aromas.

Los compuestos más importantes con las cuales es posible la diferenciación de los productos evaluados se muestran en la tabla 7.6.

**TABLA 7.6. ATRIBUTOS SIGNIFICATIVOS PARA LA DIFERENCIACIÓN DE LAS CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA ( $\alpha < 0.05$ )**

COMPONENTE PRINCIPAL	PRODUCTO	ATRIBUTO	COEFICIENTE	
F1	TD	Floral (o)	0.614	
	TRE	Plátano (o)	0.500	
	TC	Afrutado (o)	0.734	
	TDM	Manzana Verde (o)	0.699	
	MCC	Frutas fermentadas (o)	0.489	
	MV	Ácido (g)	0.488	
	MPA	Carbonatación (s)	0.602	
			Café (o)	-0.987
			Cacao (o)	-0.963
		MSI	Café (a)	-0.957
		Cacao (a)	-0.902	
		Quemado (a)	-0.883	
F2		Melaza (o)	0.512	
	MSI	Amargo (g)	0.729	
	MPA	Lúpulo (a)	0.649	
	TDM	Astringente (s)	0.644	
		Cuerpo (s)	0.495	
		TRE	Acido (g)	-0.529
		TC	Maíz cocido (a)	-0.669
	MCC			
	MV			

De acuerdo a los resultados obtenidos de las cervezas de malta de cebada se decidió descartar para la evaluación final la cerveza Minerva Stout Imperial (MSI) ya que esta tiene características muy diferentes al resto de las cervezas siendo la única de un estilo muy alejado del resto de las cervezas.

#### 7.1.4 Re-Selección de atributos representativos

Al final de la etapa de entrenamiento se realizó una re-selección de atributos para la siguiente etapa de evaluación de los productos, con el fin de saber si los atributos son importantes para la diferenciación de las muestras incluso aunque se perciban con muy baja intensidad o con poca frecuencia. La re-selección se realizó mediante la media geométrica, descartando aquellos atributos que obtuvieron menos del 10% acumulado.

**TABLA 7.7. DESCRIPTORES DESCARTADOS POR MEDIA GEOMÉTRICA Y PORCENTAJE ACUMULADO <10%**

DESCRIPTOR	MEDIA GEOMÉTRICA	% ACUMULADO	%
Cacao (o)	0.22	<b>9.28</b>	1.68
Maíz dulce (o)	0.22	<b>7.60</b>	1.67
Cacao (a)	0.21	<b>5.93</b>	1.64
Maíz cocido (o)	0.20	<b>4.28</b>	1.58
Maíz cocido (a)	0.18	<b>2.70</b>	1.40
Tortilla (a)	0.17	<b>1.30</b>	1.30

Los atributos que se eliminaron por tener un porcentaje acumulado < 10%, fueron cacao, maíz dulce, maíz cocido y tortilla, sin embargo el término maíz no se eliminó ya que éste se considera importante para el perfil del producto, en especial para las cervezas de malta de maíz, por lo que se decidió realizar un nuevo consenso donde los jueces acordaron continuar evaluándolo con el nombre de “maíz” tanto para olor como para aroma en boca, y se volvió a dar un entrenamiento sobre ese atributo. Además durante el consenso el panel también decidió agregar el término “piloncillo” y redefinir algunos conceptos.

Para este cálculo no se tomaron en cuenta los atributos de apariencia ya que estos son relevantes para la descripción de los productos. Los atributos finalmente seleccionados fueron 38. Estos fueron: 7 descriptores para apariencia (color, color de espuma, espuma, persistencia de espuma, gasificación, turbidez y partículas suspendidas); 14 para olor (floral, plátano, afrutado, manzana verde, mantequilla, levadura, maíz, nixtamal, mosto, frutas fermentadas, alcohol, disolvente, caramelo y piloncillo); 4 para gusto (dulce, salado, amargo y ácido); 8 para aroma en boca (frutas cítricas, maíz, lúpulo, vegetales cocidos, rancio, chile, café y quemado); 4 para sensaciones en boca (picante, metálico, astringente y carbonatación) y 1 para consistencia (cuerpo). La definición del vocabulario se muestra en la tabla 7.8.

**TABLA 7.8. DEFINICIÓN DE LOS DESCRIPTORES ACORDADOS POR EL PANEL PARA LA EVALUACIÓN FINAL DE LOS PRODUCTOS**

<b>APARIENCIA (7)</b>	
<b>ATRIBUTOS</b>	<b>DEFINICIÓN</b>
Color	Color de la cerveza, se mide con la guía de color de la Beer Judge Certification Program (BJCP).
Color de espuma	Color de la espuma, se mide con la guía de color de la Beer Judge Certification Program (BJCP).
Espuma	Cantidad de espuma formada (mínimo – máximo)
Persistencia de espuma	Duración de la espuma en el vaso. Sin, poco, persistente, muy persistente, no desaparece (mínimo-máximo)
Gasificación	Cantidad de desprendimiento del gas disuelto en la cerveza. Sin gas, casi sin gas, poco gas, equilibrada, abundante. (mínimo-máximo)
Turbidez	Cristalina, poco transparente, turbia, opaca
Partículas suspendidas	Cantidad de sedimentos y partículas que se encuentran en la cerveza. Nada, poco, moderado, mucho. (mínimo-máximo)



Otros estudios realizados en cervezas provenientes de Rumania, Yugoslavia y Polonia, muestran que los principales atributos generados por el panel (21 términos para olor y sabor) y que caracterizan a las cervezas son mosto, caramelo, vegetales cocidos, astringente, amargo, metálico, carbonatación y sensación de picor (no causada por chile), además el panel agregó atributos como miel y almendras (Donadini, *et al.*, 2011).

Con lo anterior se puede observar que el vocabulario generado en este estudio está altamente relacionado con las características generales encontradas en cervezas en distintos lugares del mundo, difiriendo solo en términos que son específicos del lugar de origen de la cerveza (México), así como de la materia prima empleada en su elaboración, entre estos nuevos términos se tiene maíz, nixtamal, piloncillo, chile y picante

Los nuevos términos generados en este estudio pueden contribuir a la complementación o generación de la “Rueda de Aroma de la cerveza”, que sea específica para cervezas de origen mexicano y/o de países latinos, cuyo vocabulario será fácilmente identificado por jueces y consumidores de dichos países.

#### 7.1.5 Análisis de panel

Durante las etapas anteriores se evaluó el desempeño del panel para conocer que tanto eran capaces de discriminar entre muestras, la forma como evaluaban y conocer que tanto habían comprendido cada uno de los términos generados.

Se realizó un ANOVA por cada juez y para cada uno de los atributos, evaluando el efecto de producto, para conocer si cada juez era capaz de distinguir entre productos empleando los descriptores disponibles, el análisis se llevó a cabo al comienzo del entrenamiento y al término de esta etapa. La descripción detallada del análisis de panel se encuentra en el Anexo 9.

De este análisis se obtuvo que los jueces emplean diferentes términos para la diferenciación entre productos, además de ocupar de la escala de manera distinta, por lo tanto, para disminuir los efectos tanto de interpretación como de escala los datos de la evaluación se analizarán estadísticamente por medio del análisis Procrustes (GPA).

#### 7.1.6 Evaluación de cervezas de malta de cebada y de malta de maíz.

Se evaluaron 7 cervezas de malta de cebada y 2 de malta de maíz, estas fueron seleccionadas durante las etapas anteriores, los productos fueron: Tempus Dorada, Tempus Doble Malta, Tempus Alt Clásica, Tempus Reserva Especial, Minerva Colonial Clara, Minerva Pale Ale, Minerva Viena, Cerveza de Maíz Azul con Chile y Lúpulo y Cerveza de Maíz Rojo con Chile y Lúpulo.

En la tabla 7.9 se observan los resultados obtenidos del ANOVA mostrando los atributos en los cuales existe diferencias significativas tanto en el factor producto, juez así como la interacción producto-juez (valor-p<0.05).

**TABLA 7.9. ANOVA POR DESCRIPTOR PARA CERVEZAS DE MALTA DE MAÍZ Y CEBADA ( $\alpha < 0.05$ )**

DESCRIPTOR	PRODUCTO	JUEZ	PRODUCTO- JUEZ
	F	Valor-p	Valor-p
Color	63.187	< 0,0001	<0,0001
Color espuma	7.245	< 0,0001	<0,0001
Espuma	12.061	< 0,0001	0.006
Persistencia de espuma	13.881	< 0,0001	0.007
Gasificación	5.306	< 0,0001	0.323
Turbidez	23.625	< 0,0001	0.158
Partículas suspendidas	23.271	< 0,0001	0.038
Floral	6.449	< 0,0001	0.019
Plátano	3.118	0.003	< 0,0001
Afrutado	2.925	0.005	< 0,0001
Manzana verde	4.685	< 0,0001	0.002

Mantequilla	1.138	0.343	< 0,0001	0.132
Levadura	2.387	<b>0.020</b>	< 0,0001	<b>0.001</b>
Maíz	29.431	< 0,0001	<b>0.001</b>	<b>0.017</b>
Nixtamal	20.726	< 0,0001	<b>0.005</b>	<b>0.003</b>
Mosto	3.252	<b>0.002</b>	< 0,0001	<b>0.008</b>
Frutas fermentadas	6.381	< 0,0001	< 0,0001	<b>0.018</b>
Alcohol	1.174	0.320	< 0,0001	< 0,0001
Disolvente	0.681	0.707	< 0,0001	0.193
Caramelo	1.773	0.089	< 0,0001	<b>0.014</b>
Piloncillo	3.662	<b>0.001</b>	< 0,0001	<b>0.042</b>
Dulce	1.591	0.135	< 0,0001	<b>0.047</b>
Salado	1.746	0.095	< 0,0001	<b>0.031</b>
Amargo	10.724	< 0,0001	< 0,0001	<b>0.013</b>
Acido	1.292	0.254	< 0,0001	0.140
Frutas cítricas	6.679	< 0,0001	< 0,0001	<b>0.018</b>
Maíz (a)	42.191	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Lúpulo	9.106	< 0,0001	< 0,0001	<b>0.000</b>
Vegetales cocidos	8.201	< 0,0001	< 0,0001	<b>0.051</b>
Rancio	0.739	0.657	< 0,0001	<b>0.004</b>
Chile	12.416	< 0,0001	<b>0.004</b>	0.211
Café	4.856	< 0,0001	< 0,0001	<b>0.002</b>
Quemado	2.981	<b>0.004</b>	< 0,0001	<b>0.004</b>
Picante	6.595	< 0,0001	< 0,0001	<b>0.000</b>
Metálico	0.894	0.524	< 0,0001	0.152
Astringente	1.056	0.399	< 0,0001	0.378
Gasificación	6.519	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Cuerpo	3.879	<b>0.000</b>	< 0,0001	< 0,0001

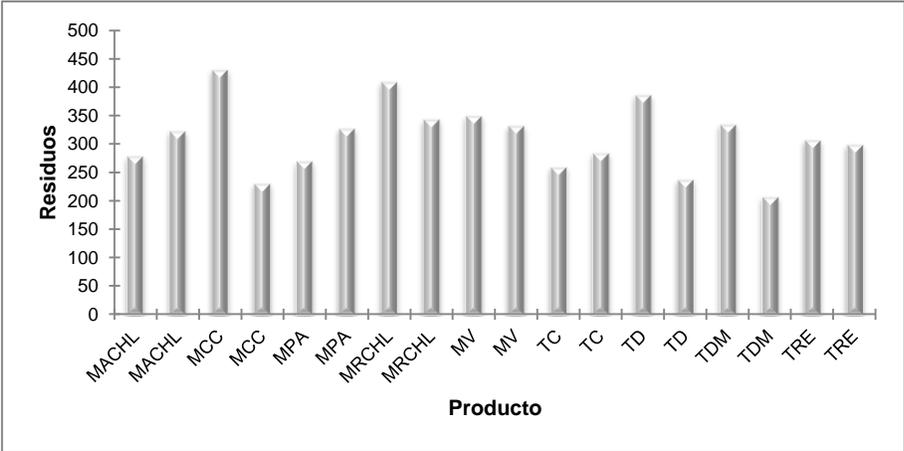
**Nota:** Los valores-p prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Los valores-p< 0.05 tienen un efecto estadísticamente significativo sobre cada atributo con un 95% de confianza.

Los atributos con valor-p menor a 0.05 en el factor producto son significativamente diferentes y por lo tanto se puede asegurar que todo el panel (considerado como un todo) es capaz de distinguir entre productos para esos atributos.

En los resultados observamos que también hay efecto de los factores juez e interacción producto\*juez para algunos atributos ( $p < 0.05$ ), esto muestra claramente que los jueces usan la escala de diferente forma y además emplean el vocabulario de manera distinta, es decir que cada juez usa diferentes atributos para discriminar entre muestras.

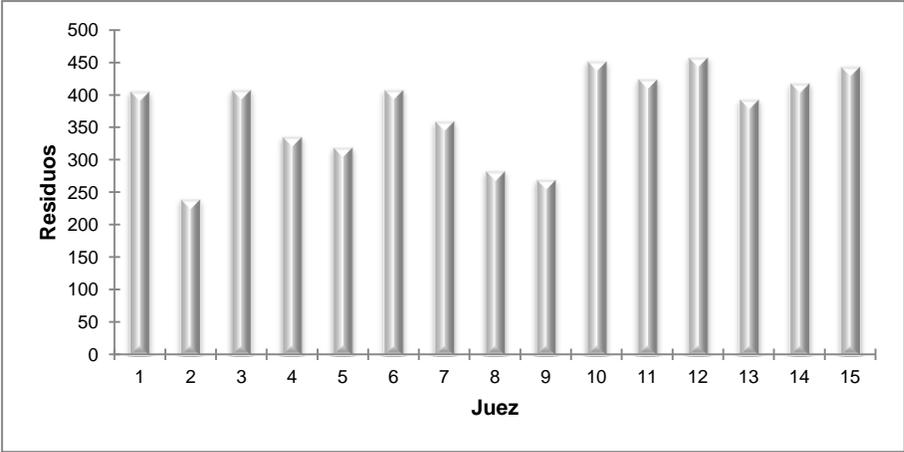
De los resultados del GPA se obtienen la suma de cuadrados de los residuos por producto tras las transformaciones del GPA, donde el producto Tempus doble malta (TDM) obtuvo el residuo más débil, por lo tanto este producto es objeto de un consenso en el panel, por el contrario, el producto con menos consenso es la muestra de Minerva colonial clásica (MCC), ya que obtiene el residuo más alto.

GRÁFICA 7.5. SUMA DE CUADRADOS DE LOS RESIDUOS POR PRODUCTO TRAS LAS TRANSFORMACIONES GPA



La gráfica 7.6, muestra los residuos por configuración (por juez) tras las transformaciones del GPA.

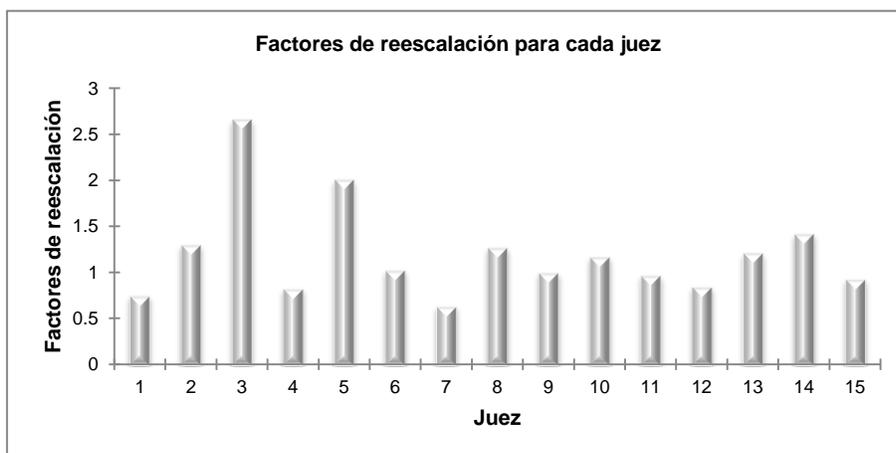
GRÁFICA 7.6. SUMA DE CUADRADOS DE LOS RESIDUOS POR JUEZ TRAS LAS TRANSFORMACIONES GPA



Después de las transformaciones Procrustes, el juez 12 es el que obtiene un mayor residuo, lo cual indica que este juez es el más alejado del consenso, es decir, que la forma como califica cada atributo es diferente al resto del panel. Los jueces con mayor consenso son aquellos cuyos residuos tienen un menor valor, entre estos se encuentran los jueces 2, 8 y 9.

La gráfica 7.7 nos muestra los factores de escalamiento de las transformaciones procrustes, donde un factor superior a 1 indica que el juez utiliza la escala de manera más amplia que el resto del panel y un valor menor a 1 indica que el juez no utiliza la escala de manera tan amplia.

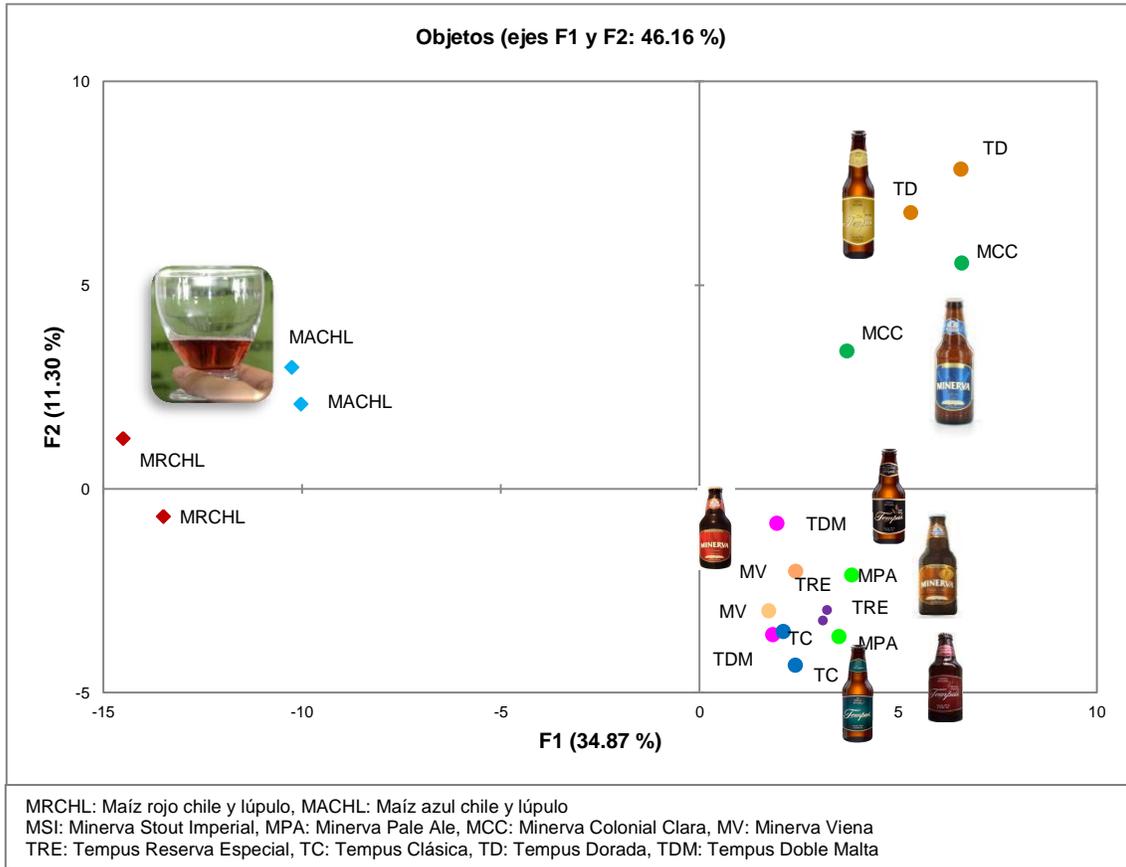
GRÁFICA 7.7. FACTORES DE RE-ESCALACIÓN PARA CADA JUEZ



Como se puede observar en la gráfica 7.7 el juez 3 evalúa los productos empleando la escala de manera más amplia que el resto del panel, por el contrario, el juez 7 ocupa sólo una parte de la escala para evaluar los mismos productos. Con este gráfico se confirma que los jueces evalúan de forma diferente, lo cual está relacionado a su sensibilidad.

En la gráfica 7.8 se muestra el gráfico Procrustes, se observa que los puntos se encuentran muy cerca del primer eje (F1) debido a que el 34% de la variabilidad está concentrada en este primer eje.

GRÁFICA 7.8. GRÁFICA DE SCORES DE LOS PRIMEROS COMPONENTES PROCRUSTES (46.16%)





La variabilidad explicada de los primeros dos componentes F1 y F2 es del 46.16%. El componente F1 que explica el 34.87% de la variabilidad, separa los productos en dos categorías, del lado positivo (derecho) se encuentran las cervezas elaboradas con malta de cebada y del lado negativo de F1 (izquierdo) se encuentran las cervezas elaboradas con malta de maíz.

Los atributos que caracterizan a las cervezas de maíz son mayor intensidad en color, apariencia turbia, mayor cantidad de partículas suspendidas, olor a maíz, nixtamal, frutas fermentadas, piloncillo, aroma en boca a maíz, a vegetales cocidos, chile y sensación picante, dichos atributos se esperan que se encuentren en este tipo de cervezas ya que precisamente son olores y aromas característicos de productos elaborados con maíz, a pesar de que estos mismos atributos serían considerados defectos en cervezas elaboradas con cebada, en las cervezas de maíz podrían no ser considerados defectos.

Los atributos asociados a las cervezas de malta de cebada son mayor cantidad y persistencia de espuma y gasificación, olor floral, afrutado, manzana verde, mantequilla, gusto amargo, aroma en boca a frutas cítricas, lúpulo, sensación metálica y carbonatación, todas estas características son propias de las cervezas de cebada e incluso se encuentran en la Rueda de Meilgaard (Figura 1.1).

El componente F2, permite separar dentro de cada categoría (cervezas de maíz y de cebada), la variabilidad explicada por este componente es del 11.30%, este componente separa a las cervezas Tempus Alt Clásica (TC), Tempus doble malta (TDM), Tempus reserva especial (TRE), Minerva Viena (MV), Minerva Pale Ale (MPA) ubicándolas en la parte inferior de la gráfica (Gráfica 7.9), estas cervezas a pesar de sus estilos diferentes comparten las características de un mayor gusto amargo y aromas a lúpulo así como mayor sensación de cuerpo, los atributos asociados a estas cervezas son mayor intensidad en color de la espuma, olor a caramelo, gusto dulce, aroma a café, quemado y mayor sensación de cuerpo. Se

observa que los jueces son capaces de discriminar estas cervezas del resto pero dentro de ellas la diferenciación no es buena. Esto se debe a la similitud de estos productos. También se observa que dentro del grupo de cervezas de maíz hay una diferenciación entre las cervezas elaboradas con maíz rojo (MRCHL) y las cervezas con maíz azul (MACHL), ubicando a la de maíz en la parte superior, sin embargo se aprecia que la réplica de MRCHL se encuentra en la parte inferior, por lo que los jueces no tienen una buena reproducibilidad en esa muestra, esto se puede deber a que las muestras de cerveza de maíz rojo aún no son tan estables y difieren de una botella a otra.

En la parte superior del gráfico se ubican las cervezas Tempus Dorada (TD) y Minerva Colonial Clara (MCC), las cuales de acuerdo a su estilo comparten características que las hacen muy similares, entre los atributos correlacionados a estos productos se tiene el olor a plátano, a levadura, disolvente y gusto salado y ácido, en la parte superior del lado negativo (izquierdo) también se ubican las cervezas de maíz azul, las cuales comparten estas características.

De estas gráficas (Gráfica 7.8 y 7.9), se puede observar que los jueces son capaces de discriminar entre los productos y además tienen la habilidad de reproducir valores similares para productos iguales, ya que las réplicas de las muestras se encuentran cercanas y hay congruencia con sus resultados.

Los atributos más importantes con los cuales es posible la diferenciación de los productos evaluados se muestran a continuación (Tabla 7.10).

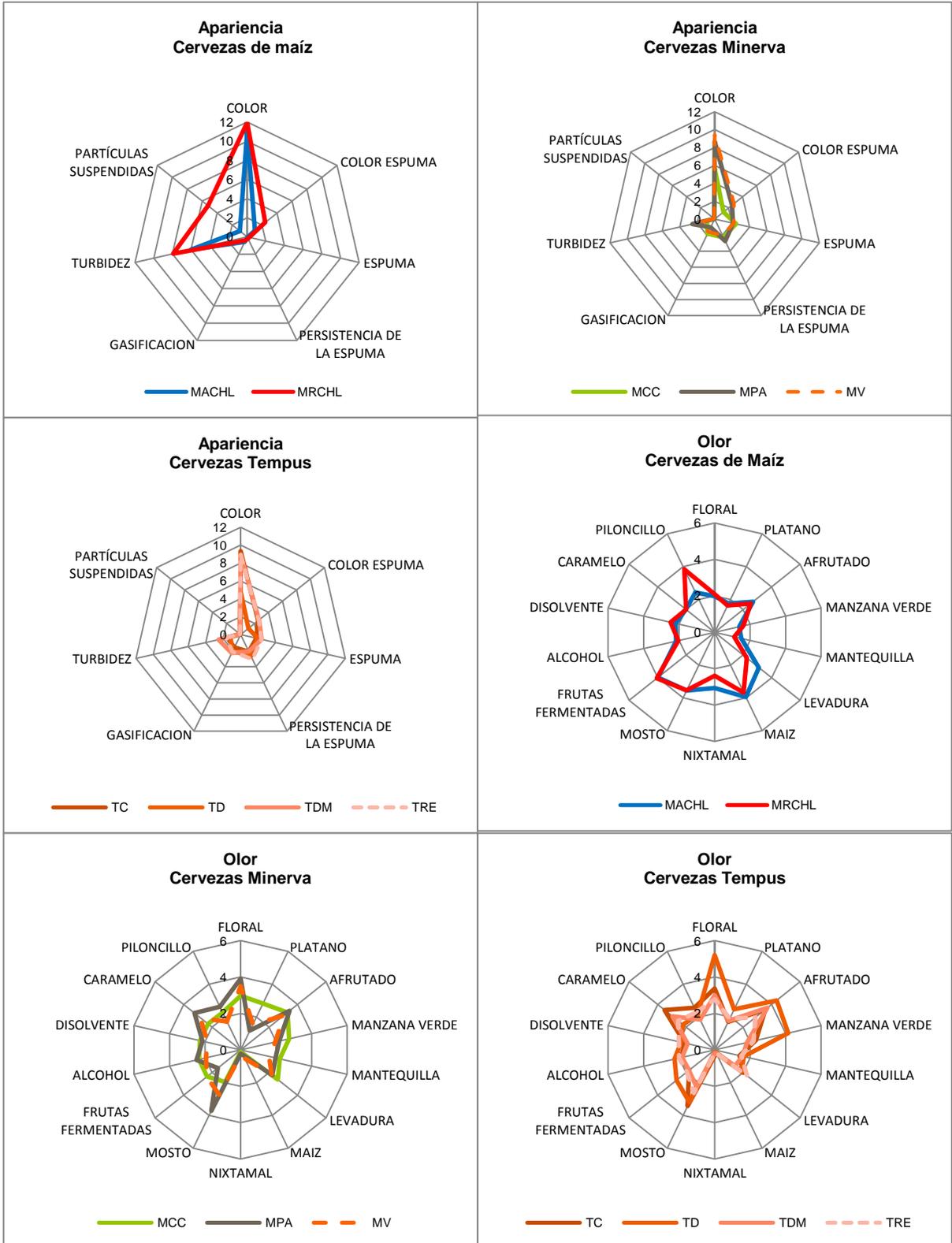
**TABLA 7.10. ATRIBUTOS SIGNIFICATIVOS PARA LA DIFERENCIACIÓN DE LAS CERVEZAS DE MALTA DE MAÍZ Y MALTA DE CEBADA ( $\alpha < 0.05$ )**

COMPONENTE PRINCIPAL	PRODUCTO	ATRIBUTO	COEFICIENTE
F1	TC	Frutas cítricas (a)	0.788
	TDM	Persistencia de espuma	0.647
	TRE	Lúpulo (a)	0.635
	TD	Manzana verde (o)	0.564
	MPA	Cuerpo (c)	0.555
	MV	Espuma	0.500
	MCC		
		Nixtamal (o)	-0.902
		Color	-0.849
		Picante (s)	-0.836
		Turbidez	-0.760
	MRCHL	Maíz (a)	-0.697
	MACHL	Levadura (a)	-0.627
		Vegetales cocidos (a)	-0.605
		Chile (a)	-0.523
		Partículas suspendidas	-0.491
		Frutas fermentadas (o)	-0.453
F2	TD		
	MCC	Frutas cítricas (a)	0.478
	MACHL		
	TC		
	TDM	Café (o)	-0.678
	TRE	Quemado (a)	-0.667
	MPA	Dulce (g)	-0.539
	MV	Color espuma	-0.451
	MRCHL		

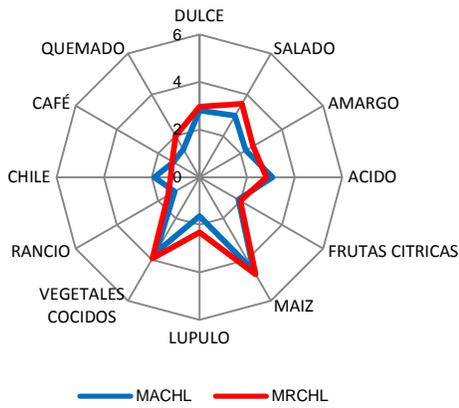
Además se observa que el uso del análisis Procrustes logra corregir las evaluaciones eliminando las diferencias individuales y homogenizando los datos, consiguiendo caracterizar los productos independientemente de la capacidad individual de los jueces. Este análisis ha sido empleado en otros estudios para el análisis de los datos obtenidos por QDA, por ejemplo Hernández *et al.* (2010) logró la caracterización de queso fresco, también Jong *et al.* (1998) logra la caracterización de diferentes marcas de café, reduciendo en ambos estudios el efecto de interpretación de los jueces. Además Dijksterhuis (1996) menciona que GPA puede ser utilizado en un perfil convencional como lo es QDA cuando los análisis muestran que los jueces no utilizan los atributos de la misma manera.

### 7.1.7 Perfiles descriptivos cuantitativos de las cervezas de maíz y cebada.

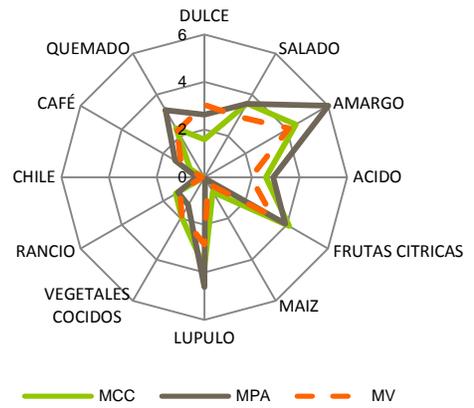
GRÁFICA 7.10. GRÁFICAS DE PERFILES DESCRIPTIVOS CUANTITATIVOS DE CERVEZAS DE MAÍZ Y CEBADA



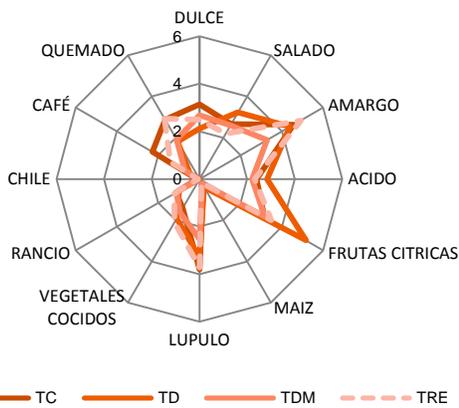
**Gusto y aroma  
Cervezas de maíz**



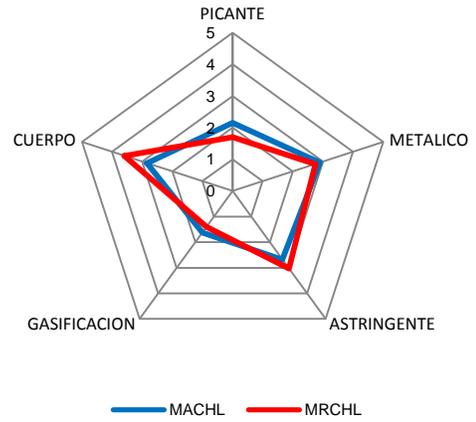
**Gusto y aroma  
Cervezas Minerva**



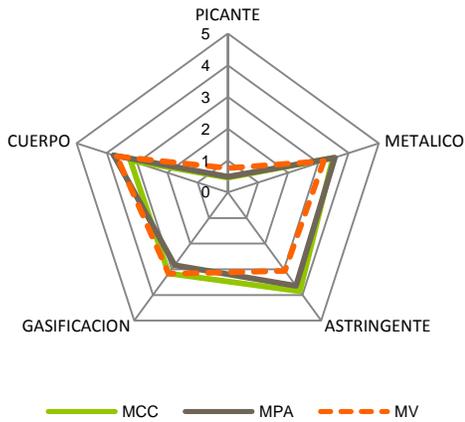
**Gusto y aroma  
Cervezas Tempus**



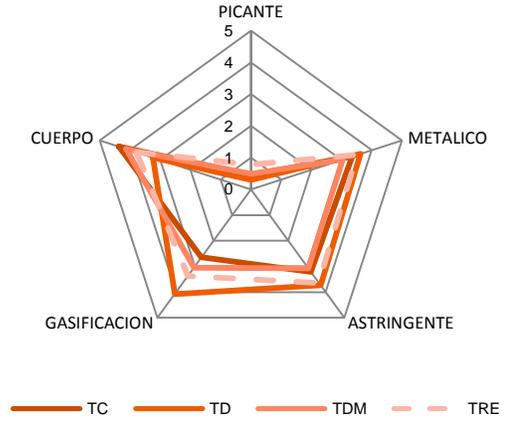
**Sensaciones en boca  
Cervezas de maíz**



**Sensaciones en boca  
Cervezas Minerva**



**Sensaciones en boca  
Cervezas Tempus**



Como se puede observar en los perfiles anteriores, las cervezas de maíz conservan características similares a las de las cervezas de cebada en la mayoría de los aspectos, difiriendo notablemente en los aromas propios del maíz como “maíz” y “nixtamal” y “vegetales cocidos” el cual se puede asociar a la misma materia prima (maíz), así como al compuesto dimetil sulfuro, el cual proviene del cocimiento del maíz.

Para las cervezas de cebada, se observa que los perfiles generados tanto de la marca Tempus como Minerva, en general coinciden con las fichas que la BJCP marca para estos estilos (Tabla 6.1). Por ejemplo, para las cervezas TD y TC, coinciden en olores afrutados, ligero acaramelado, así como amargor de equilibrado de medio a alto, para TDM y TRE, los atributos de bajo a nulo aroma a mantequilla así como una gasificación media son atributos que marca la BJCP.

Para la marca Minerva, la cerveza MCC coincide en que presenta sutil aroma afrutado y bajo aroma a lúpulo, para MV el aroma a lúpulo en baja intensidad así como el aroma a mantequilla, y para la MPA intenso olor floral y amargor son atributos que coinciden con los marcados por la BJCP propios de cada estilo.

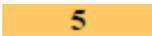
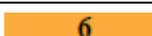
En cuanto a la apariencia, se nota una mayor diferencia en la cerveza elaborada con maíz rojo (MRCHL) del resto de las cervezas, esta cerveza difiere principalmente en una mayor cantidad de partículas suspendidas y de turbidez, las cuales se asocian a la falta de clarificación del producto, ya que por el mismo proceso de elaboración, al llevar a cabo la segunda fermentación dentro de la botella, las levaduras no se eliminan del producto lo que causa la apariencia turbia del producto y al servirse en la copa se va parte de las levaduras lo que provoca las partículas suspendidas.

Las cervezas de maíz azul también presentan turbidez provocada por las mismas causas que la anterior, aunque la presencia de partículas suspendidas es menor, esto se debe a que para estas últimas las levaduras se asentaron en el fondo de la botella contribuyendo a que al servirse en las copas esta cerveza tuviera un aspecto más “limpio”.

### 7.1.8 Resultados de la medición de color con la guía SRM

Los resultados obtenidos del análisis sensorial de la medición del color de las cervezas se muestran a continuación (Tabla 7.11), el valor de SRM y su definición se encuentran en el Anexo 2 y la tabla 7.2 respectivamente:

**TABLA 7.11. MEDICIÓN DE COLOR DE LAS CERVEZAS DE MAÍZ Y CEBADA MEDIANTE LA GUÍA SRM.**

<b>Cerveza</b>	<b>Valor SRM y Descripción de Color</b>
Tempus dorada (TD)	SRM: 5, Oro 
Tempus Alt Clásica (TC)	SRM: 9, Ámbar medio 
Tempus Doble Malta (TDM)	SRM: 9, Ámbar medio 
Tempus Reserva Especial (TRE)	SRM: 9, Ámbar medio 
Minerva Colonial Clara (MCC)	SRM: 6, Oro 
Minerva Viena (MV)	SRM: 9, Ámbar medio 
Minerva Pale Ale (MPA)	SRM: 7, Ámbar claro 
Cerveza de maíz azul con chile y lúpulo (MACHL)	SRM: 11, Cobrizo 
Cerveza de maíz rojo con chile y lúpulo (MRCHL)	SRM: 12, Cobrizo 

Con lo anterior se puede observar que sólo las cervezas TD y MCC cumplen con el rango de color reportado por la BJCP (Tabla 6.1) para esos estilos de cerveza, para el resto de las cervezas de cebada el valor obtenido está por debajo de lo que debería de estar según su estilo, por otro lado, para las cervezas de maíz se ubican en un rango de 11-12 para la cual su descripción como se menciona es de cobrizo, este color puede estar proviniendo de las antocianinas del maíz rojo y azul, ya que este maíz no se somete a un tostado como en el caso de la cebada en donde se determina el color de la malta y por lo tanto de la cerveza.

### 7.1.9 Ficha de estilo de cervezas de maíz

Con los resultados del QDA analizados anteriormente se puede elaborar una ficha de estilo semejante a las reportadas por *The Brewers Association*, *The Great American Beer Festival* o *The Beer Judge Certification Program (BJCP)* para cervezas de cebada.

**TABLA 7.12. FICHA DE ESTILO DE LAS CERVEZAS DE MAÍZ**

Ficha de estilo de cervezas de maíz	
Cervezas de maíz	
	<p><b>Fermentación:</b> Ale</p> <p><b>Porcentaje de alcohol:</b> 5% Alc.Vol.</p> <p><b>Olor:</b> a nixtamal, maíz, mosto, bajo olor a frutas, alcohol y lúpulo</p> <p><b>Sabor:</b> intenso aroma a maíz, gusto dulce, suave aroma a piloncillo y chile</p> <p><b>Sensación en boca:</b> Notas picantes de bajas a moderadas, cuerpo ligero, baja carbonatación</p> <p><b>Apariencia:</b> Color cobrizo, baja gasificación, espuma ligera blanca.</p> <p><b>SRM:</b> 11-12</p> <p><b>IBU's:</b> 15</p>

## 7.2. Mediciones instrumentales

### 7.2.1. Mediciones cromatográficas: Identificación de los compuestos volátiles por GC/MS

Mediante el análisis cromatográfico de los compuestos volátiles a través de la espectrometría de masas se identificaron 16 compuestos con un límite de confiabilidad mayor al 80% (porcentaje de confiabilidad al comparar los espectros de las muestras estudiadas con las bibliotecas), estos compuestos se muestran en la tabla 7.13:

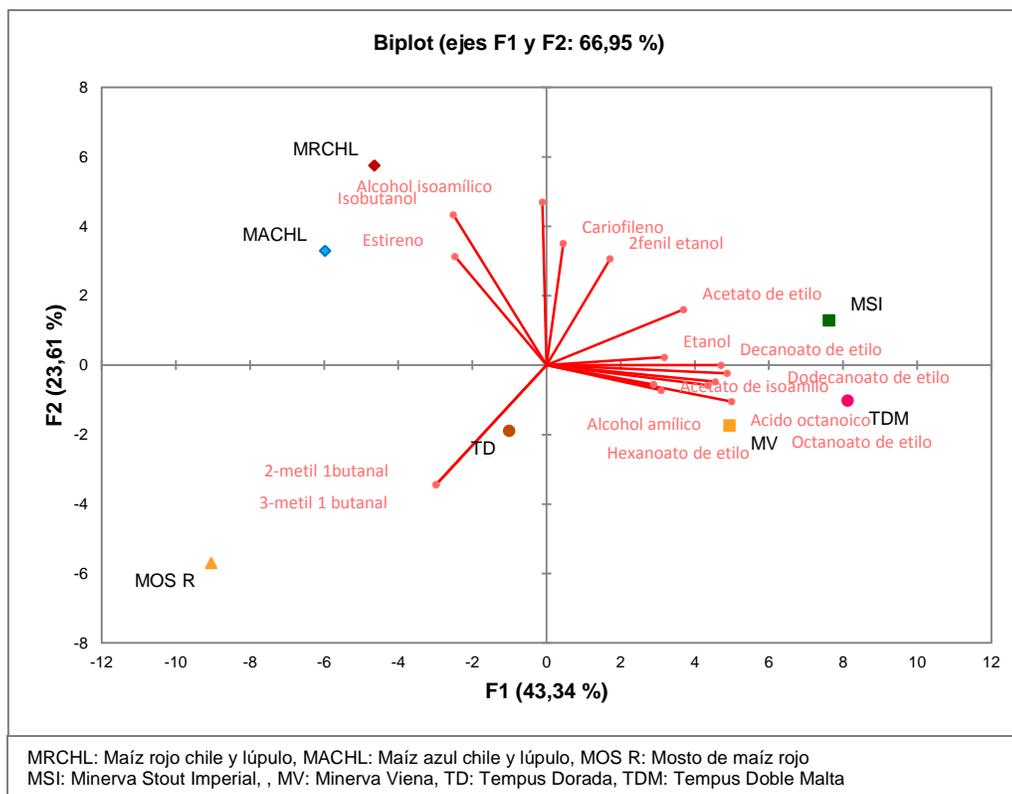
**TABLA 7.13. COMPUESTOS IDENTIFICADOS POR SPME/GC/MS**

<b>Compuesto volátil</b>	<b>Tiempo de retención (min)</b>	<b># Cas</b>
Etanol	1.26	64-17-5
Acetato de etilo	1.58	141-78-6
3-metilbutanal	1.76	590-86-3
2-metilbutanal	1.86	96-17-3
Isobutanol	1.94	78-83-1
Alcohol isoamílico	3.14	123-51-3
Alcohol amílico	3.16	137-32-6
Acetato de isoamilo	7.76	123-92-2
Estireno	9.0	100-42-5
Hexanoato de etilo	12.64	123-66-0
2-feniletanol	15.56	60-12-8
Ácido octanoico	16.93	124-07-2
Octanoato de etilo	17.08	106-32-1
Decanoato de etilo	20.6	110-38-3
$\alpha$ -cariofileno	21.68	6753-98-3
Dodecanoato de etilo	23.68	106-33-2

Los productos analizados fueron MACH, MRCH; MV, MSI, TD, TDM y mosto de maíz rojo (MOSR), se llevaron a cabo dos repeticiones por producto, las áreas promedio obtenidas se muestran en el Anexo 10 y los cromatogramas correspondientes en el Anexo 11.

Los datos obtenidos mediante GC/MS se analizaron estadísticamente empleando el análisis multivariado Análisis de Componentes Principales (PCA), con el cual se puede visualizar la manera como se correlacionan los compuestos volátiles con cada uno de los productos. A continuación se muestra la gráfica PCA (Gráfica 7.11).

GRÁFICA 7.11. GRÁFICA DE LOADINGS Y SCORES DE LOS PRIMEROS COMPONENTES PRINCIPALES (66.95%)  
 COMPUESTOS VOLÁTILES OBTENIDOS POR GC/MS



Para el componente 1 (F1) que explica el 43.34% de la variabilidad total, nos permite separar los productos de cebada (MV, TDB, MSI) de los productos que contienen maíz (MACHL, MRCHL, MOS R) excepto para la muestra Tempus Dorada (TD) la cual también se ubica junto a las muestras de maíz.

Los compuestos asociados al F1 hacia el lado positivo son aquellos que caracterizan a las cervezas de cebada, en ellos se encuentran principalmente ésteres y alcoholes superiores. Los ésteres son los compuestos responsables del aroma afrutado en las cervezas y su concentración depende de la cepa de levadura empleada, generalmente en las cervezas se encuentran en una mayor concentración que en cervezas Ale. El más abundante es el acetato de etilo seguido del acetato de isoamilo (Santillán, *et al.*, 1998).

Los compuestos asociados al F1 hacia el lado negativo son aquellos que caracterizan a los productos que contienen maíz, entre ellos podemos encontrar aldehídos, alcoholes y el compuesto estireno que sólo fue encontrado en estos productos. Las cervezas de maíz (MACHL y MRCHL) así como la cerveza de cebada Tempus Dorada (TD), también contienen algunos de los ésteres y alcoholes superiores que se encuentran en las cervezas de cebada, pero su contenido es menor.

El componente 2 (F2) el cual explica el 23.61% de la variabilidad, separa en la parte superior a las cervezas MACHL, MRCHL y MSI cuyos compuestos característicos son el alcohol isoamílico, 2-fenil etanol, así como el  $\alpha$ -cariofileno, compuesto proveniente del lúpulo.

En la parte inferior del F2 se puede observar que el MOS R (mosto de maíz rojo) está correlacionado con los aldehídos 2-metil butanal y 3-metil butanal, estos compuestos se forman durante la fermentación primaria alcanzando sus niveles máximos en esta etapa, razón por la que los encontramos en el mosto, posteriormente los niveles de estos disminuyen al reducirse a etanol.

#### 7.2.2. Mediciones cromatográficas: Cuantificación de los compuestos volátiles mediante HS/SPME- GC-FID

Una vez que los compuestos volátiles fueron identificados por el espectrómetro de masas, se llevó a cabo la cuantificación de los mismos por medio de la técnica descrita anteriormente (HS-SPME-GC/FID). La concentración de los compuestos para cada producto se muestra a continuación (Tabla 7.14), los resultados de las curvas de calibración se muestran en el Anexo 12.

TABLA 7.14. CONCENTRACIÓN EN mg/L DE LOS COMPUESTOS VOLÁTILES OBTENIDOS POR GC-FID

Concentración en mg/L de los compuestos volátiles obtenidos por HS/SPME-GC-FID para cada una de las cervezas de malta de cebada y de maíz										
Muestra	MSI	TC	TDM	TRE	MCC	MPA	MV	TD	MACHL	MRCHL
Compuesto y tiempo de retención	Conc (mg/L)									
Etanol t=1.96	381±31.63	455±78.22	368±8.17	378±3.45	207±127.78	405±21.29	353±36.06	316±19.59	226±12.95	159±1.84
Acetato de etilo t=2.6	14±0.65	15±1.44	12±0.11	4±0.09	24±0.47	8±0.41	14±0.82	3±0.21	0±0.12	2±0.92
Alcohol isoamílico t=3.8	17±0.01	-	16±0.01	18±0.18	-	17±0.01	-	-	-	-
Alcohol amílico t=4.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21±0.01
Butirato de etilo t=6.5	2±0.06	-	2±0.03	2±0.01	-	2±0.01	-	-	-	-
Acetato de isoamilo t=9.8	7±0.02	5±0.65	6±0.33	4±0.01	4±0.97	5±0.10	5±0.39	4±0.07	4±0.32	11±2.39
Hexanoato de etilo t=13.9	4±0.02	4±0.11	4±0.16	3±0.06	3±0.21	4±0.12	3±0.09	3±0.07	3±0.01	3±0.03
2-fenil etanol t=17.4	47±1.10	45±1.21	45±0.73	45±2.55	43±3.43	50±5.00	40±0.09	50±2.37	37±0.46	35±0.01
Octanoato de etilo t=18.6	8±0.10	12±1.55	9±0.14	16±0.76	9±1.77	5±1.23	7±0.97	7±0.55	6±0.04	6±0.68
Nonanoato de etilo t=20.9	4±0.91	3±0.13	4±0.26	5±0.22	5±1.24	3±0.06	3±0.03	2±0.15	3±0.03	3±0.09
Decanoato de etilo t=22.5	4±0.01	5±0.22	3±0.09	10±1.35	6±1.76	3±0.37	6±0.85	5±1.24	3±0.03	3±0.15

Se observa que para algunos de los compuestos la concentración es mayor principalmente en las cervezas de cebada que en las de maíz, todos los compuestos se encuentran dentro del rango de concentraciones reportados para cervezas tipo “Ale”. A pesar de que es poca la concentración de los ésteres, estos generalmente se encuentran en rangos desde 0.1 hasta 40 mg/L, debido a que su umbral de detección son muy bajos, por ejemplo para el butirato de etilo este se encuentra en 400µg/L, 1.6 mg/L para el acetato de isoamilo y 33mg/L para el acetato de etilo (Hardwick, 1995). Se realizó un análisis de varianza de los datos anteriores para saber si existe diferencia significativa de los productos debida a su composición de compuestos volátiles, los resultados se muestran en la siguiente tabla 7.15.

**TABLA 7.15. ANOVA POR COMPUESTO VOLÁTIL PARA CERVEZAS DE MAÍZ Y DE CEBADA**

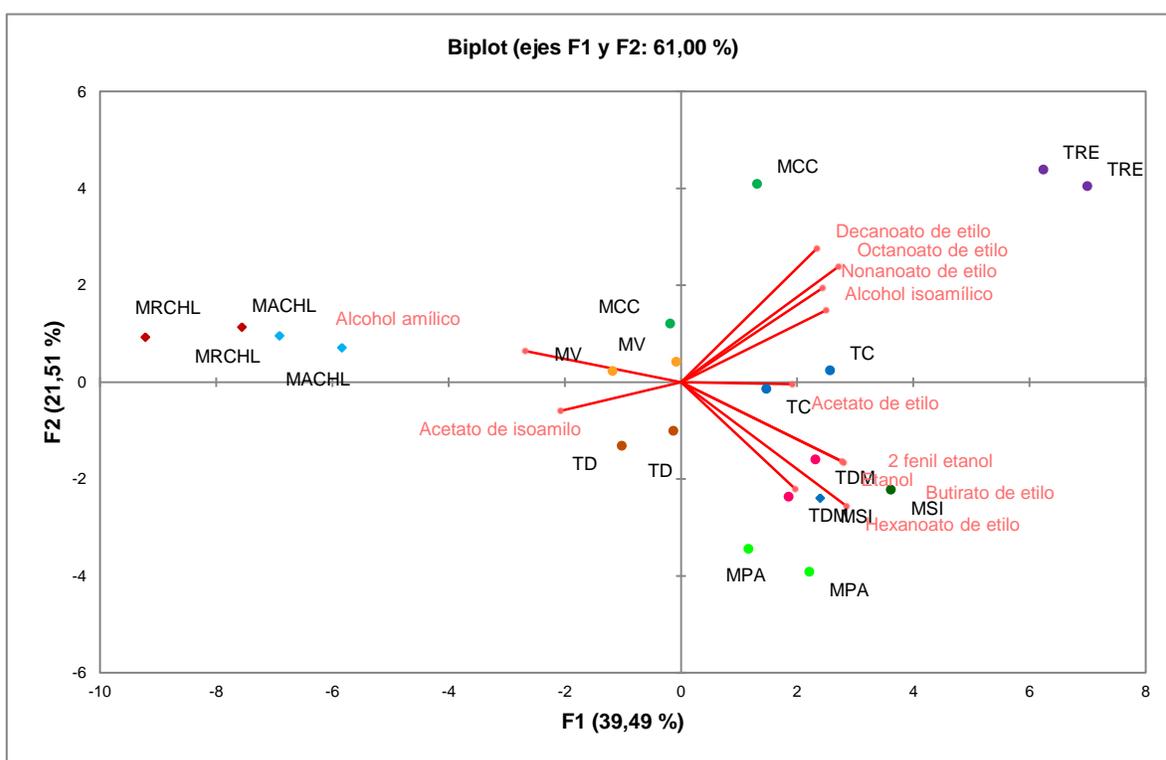
<b>Compuesto</b>	<b>F</b>	<b>Valor-p</b>
Etanol	7.165	0.002
Acetato de etilo	270.158	< 0,0001
Alcohol isoamílico	24.538	< 0,0001
Alcohol amílico	2.876	0.058
Butirato de etilo	9.405	0.001
Acetato de isoamilo	13.486	0.000
Hexanoato de etilo	46.041	< 0,0001
2 fenil etanol	2.876	0.058
Octanoato de etilo	9.405	0.001
Nonanoato de etilo	13.486	0.000
Decanoato de etilo	46.041	< 0,0001

**Nota:** Los valores-p<0.05 tienen un efecto estadísticamente significativo sobre cada atributo con un 95% de confianza

De acuerdo a los resultados anteriores se observa que existe diferencia significativa en al menos uno de los productos (cervezas de maíz y cebada) para cada uno de los compuestos volátiles analizados.

De la misma manera que se analizaron los compuestos obtenidos por espectrometría de masas los datos se analizaron por medio del PCA con el fin de determinar los compuestos que se asocian con cada tipo de cerveza, la gráfica se muestra a continuación (Gráfica 7.12).

GRÁFICA 7.12. GRÁFICA DE LOADINGS Y SCORES DE LOS PRIMEROS COMPONENTES PRINCIPALES (61%) DE LOS COMPUESTOS VOLÁTILES OBTENIDOS POR HS/SPME- GC-FID



De acuerdo al análisis anterior se observa que el componente 1 (F1) y el componente 2 (F2), logran explicar el 61% de la variación total, de esta el componente F1 explica el 39.39% logrando separar las cervezas de cebada TC, TDM, MPA y MSI del lado positivo (derecho), este tipo de cervezas se correlacionan con la mayoría de los compuestos volátiles (hexanoato de etilo, 2-fenil etanol, etanol,

octanoato de etilo, alcohol isoamílico, nonanoato de etilo), del lado negativo del componente F1 encontramos las cervezas elaboradas con maíz MRCHL y MACHL así como algunas cervezas de cebada como MCC, MV y TD, correlacionando estas con los compuestos acetato de isoamilo y alcohol amílico principalmente.

El componente 2 (F2) que explica el 21.51% logra separar las cervezas del lado positivo (parte superior) encontramos las cervezas MACHL, MRCHL MCC, MV Y TRE asociándolas con los ésteres decanoato de etilo, octanoato de etilo y nonanoato de etilo, así como con el alcohol isoamílico, y en el lado negativo (parte inferior) encontramos el resto de los productos TDM, MSI, MPA, TD y TC, correlacionados con butirato de etilo, hexanoato de etilo, y alcoholes como el etanol y 2-fenil etanol.

En la tabla 7.16 se muestran los compuestos que logran la diferenciación entre productos.

**TABLA 7.16. COMPUESTOS VOLÁTILES SIGNIFICATIVOS PARA LA DIFERENCIACIÓN DE LAS CERVEZAS DE MALTA DE MAÍZ Y MALTA DE CEBADA ( $\alpha < 0.05$ ), OBTENIDOS POR HS/SPME GC-FID.**

COMPONENTE PRINCIPAL	PRODUCTO	COMPUESTO VOLÁTIL	COEFICIENTE
F1	TRE	Hexanoato de etilo	0.721
	MCC	2-fenil etanol	0.710
	TC	Etanol	0.702
	TDM	Octanoato de etilo	0.687
	MSI	Alcohol isoamílico	0.633
	MPA	Nonanoato de etilo	0.617
	MRCHL		
	MACHL	Alcohol amílico	-0.678
	MV	Acetato de isoamilo	-0.525
	TD		
F2	TRE		
	MCC		
	MACHL	Decanoato de etilo	0.700
	MRCHL		
	TD		
	TC		
	TDM	Butirato de etilo	-0.559
	MSI		
	MPA		

### 7.2.3. Correlación de compuestos volátiles y atributos sensoriales por medio del análisis factorial múltiple (MFA).

Una vez obtenidos los datos de los compuestos volátiles, se llevó a cabo la correlación de los mismos con los datos del análisis sensorial para mostrar la relación entre los compuestos volátiles y los atributos sensoriales. El método empleado fue Análisis Factorial Múltiple (MFA) descrito anteriormente.

Se realizó el análisis con todos los atributos de olor y aroma en boca obtenidos del análisis sensorial y los compuestos volátiles obtenidos del análisis cromatográfico GC-FID.

Se analizaron los coeficientes de correlación  $R_v$  entre los datos sensoriales e instrumentales de los compuestos volátiles obteniendo lo siguiente (Tabla 7.17):

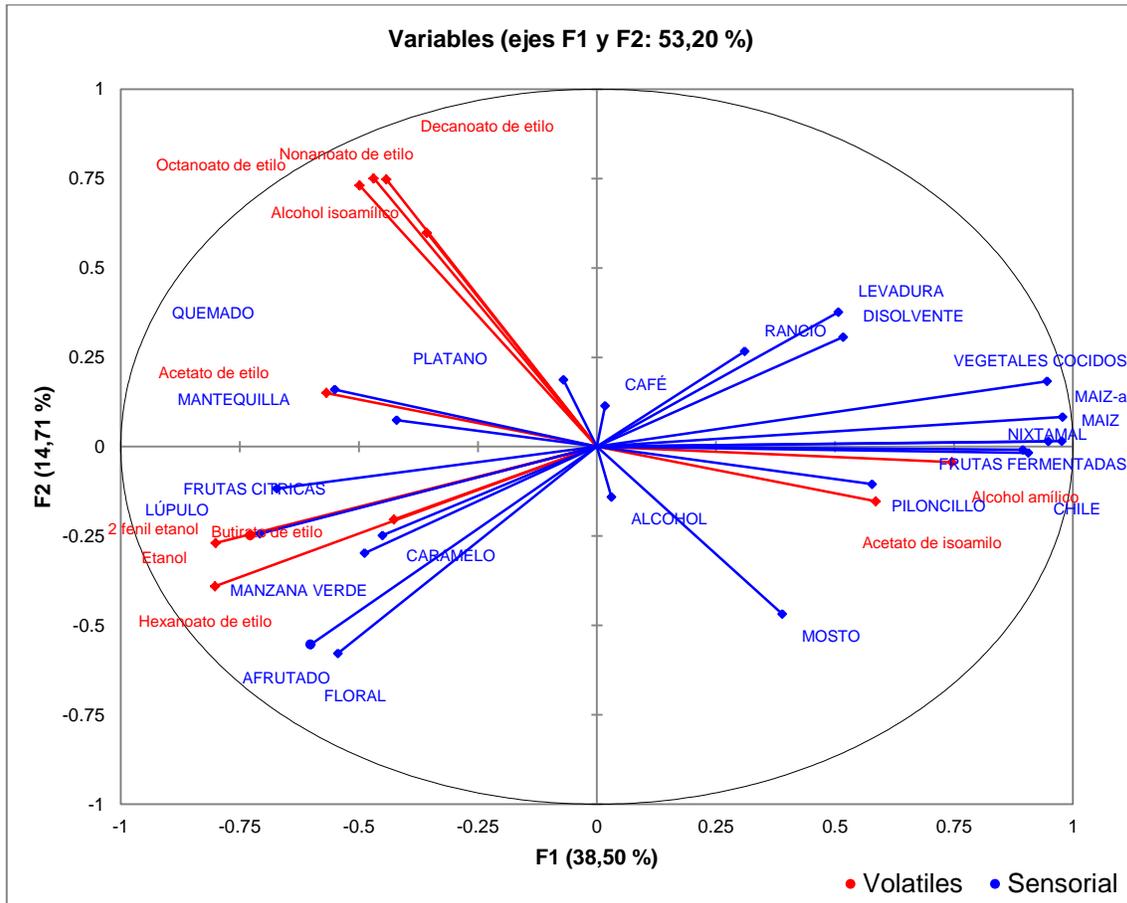
**TABLA 7.17. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN  $R_v$  DE COMPUESTOS VOLÁTILES CON DESCRIPTORES SENSORIALES**

	Volátiles	Sensorial	MFA
Volátiles	1.000	0.646	0.915
Sensorial	0.646	1.000	0.899
MFA	0.915	0.899	1.000

El coeficiente de correlación  $R_v$  entre los datos sensoriales con los volátiles fue de 0.646, por lo que se muestra que existe una relación entre las variables de los dos grupos, es decir, los datos de compuestos volátiles logran explicar los atributos sensoriales y por lo tanto logran la diferenciación de los productos.

La gráfica obtenida del MFA se muestra a continuación (Gráfica 7.13):

GRÁFICA 7.13. GRÁFICA DE SOCRES Y LOADINGS (MFA) PARA ATRIBUTOS SENSORIALES Y 11 COMPUESTOS VOLÁTILES EN LAS CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y DE MAÍZ.



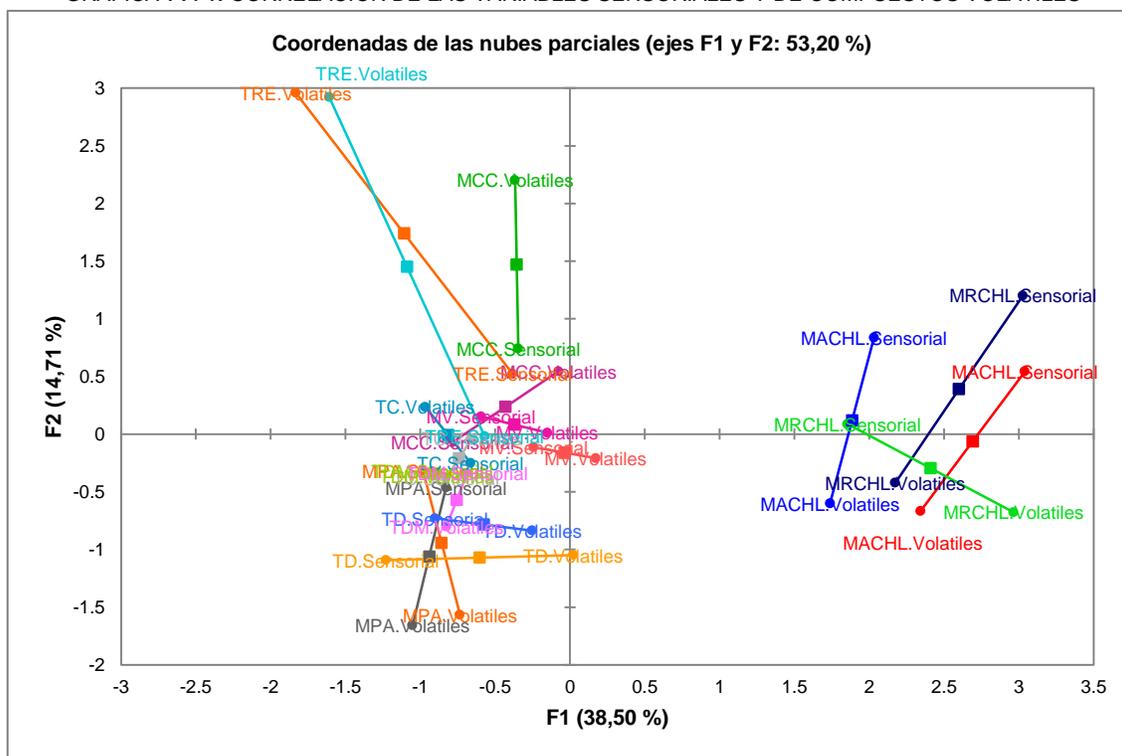
El gráfico muestra que existe una relación entre los compuestos volátiles y los descriptores sensoriales, las correlaciones positivas se dieron principalmente entre aromas como caramelo, floral, frutas cítricas, afrutado, manzana verde, lúpulo y mosto con ésteres como acetato de etilo, hexanoato de etilo y butirato de etilo, así como con los alcoholes etanol, y 2-fenil etanol, lo que concuerda con lo reportado en la literatura ya que los ésteres son los responsables del aroma “frutal y floral” en estas bebidas, además de se ha demostrado que el etanol incrementa la percepción de los olores y aromas afrutados así como la percepción del dulzor de la cerveza (Clark Amy, *et al.*, 2011).

Además se dieron correlaciones negativas entre los mismos atributos caramelo, floral, frutas cítricas, afrutado, manzana verde, lúpulo y mosto con compuestos como alcohol amílico, acetato de isoamilo.

Sin embargo no todos los descriptores sensoriales pueden ser explicados por los compuestos volátiles por ejemplo para los atributos café, alcohol, rancio no se encontró relación alta, y su correlación encontrada entre el compuesto volátil con el o los descriptores sensoriales puede deberse a la relación entre ellos, a la asociación de ciertos compuestos o a la presencia de otros compuestos que no fueron analizados.

Con lo anterior se demuestra que la percepción de los atributos sensoriales está influenciada no solo por la presencia del componente volátil responsable de cierto olor u aroma, sino también por la presencia de otros compuestos que afectan tanto positivamente como negativamente en la percepción de cierto atributo.

GRÁFICA 7.14. CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES SENSORIALES Y DE COMPUESTOS VOLÁTILES



La gráfica 7.14 muestra la proximidad de los datos sensoriales con los compuestos volátiles, se observa que los datos obtenidos del análisis sensorial y de la medición de los compuestos volátiles permite diferenciar entre las cervezas de malta de cebada de las de maíz, existiendo además una relación entre estas mediciones. Solo para la muestra “TRE” se observa que los compuestos volátiles no se encuentran tan correlacionados con sus datos sensoriales, ya que la proximidad de estas medidas es menor que en el resto de las cervezas.

#### 7.2.4. Antocianinas totales

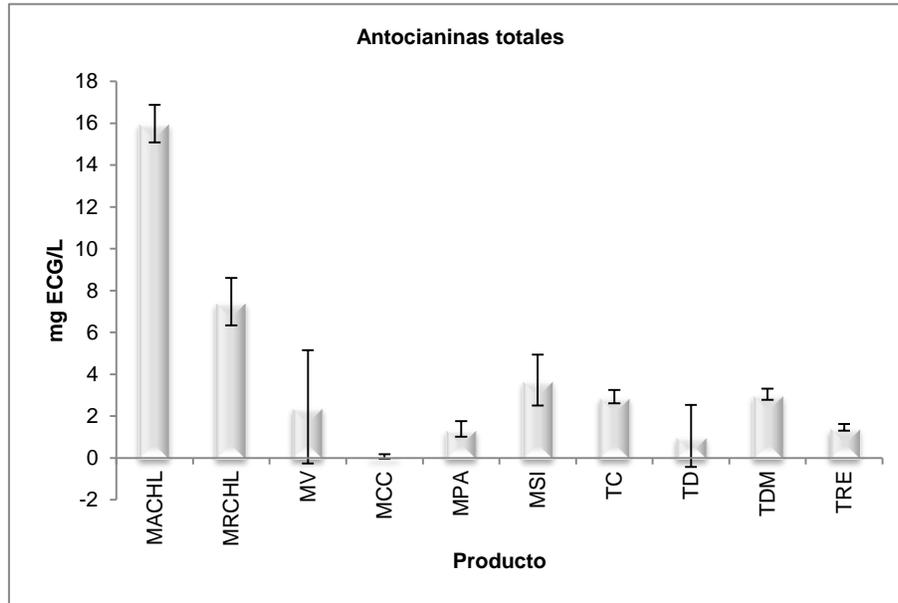
Los resultados obtenidos de la determinación de antocianinas por el método de diferencial de pH descrito en el capítulo anterior se muestran a continuación:

**TABLA 7.18. CONTENIDO DE ANTOCIANINAS TOTALES CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y DE MAÍZ**

Producto	mg/L (ECG)
MACHL	15.98 ± 0.90 <sub>a</sub>
MRCHL	7.47 ± 1.1** <sub>a</sub>
MV	2.44 ± 2.7
MCC	0.08 ± 0.11
MPA	1.39 ± 0.37
MSI	3.72 ± 1.2
TC	2.93 ± 0.32
TD	1.05 ± 1.49
TDM	3.05 ± 0.27
TRE	1.47 ± 0.16

**Nota:** Los valores son expresados como medias ± desviación estándar del contenido de antocianinas totales en equivalentes de cianidina 3-glucósido (ECG)  
 \*\*EPG= mg/L equivalentes de pelargonidina 3-glucósido.  
 a-Diferencia estadísticamente significativa

GRÁFICA 7.15. CONTENIDO DE ANTOCIANINAS TOTALES EN CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y DE MAÍZ



El resultado del ANOVA es el siguiente:

TABLA 7.19. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CANTIDAD DE ANTOCIANINAS TOTALES PARA CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y MAÍZ

Fuente	GDL	SC	MC	F	Valor-p
Producto	9	402.409197	44.712133	33.0501712	2.826E <sup>-06</sup>

El valor-p < 0.05 tiene un efecto estadísticamente significativo sobre cada producto con un 95% de confianza

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza, se observa que existe diferencia significativa ( $p < 0.0001$ ) entre los tipos de cerveza debida al contenido de antocianinas totales. De la prueba de Tukey, se obtienen dos grupos, uno con las cervezas de maíz y el segundo con las cervezas de cebada.

**TABLA 7.20. GRUPOS OBTENIDOS DE ACUERDO AL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS TOTALES POR MEDIO DE LA PRUEBA DE TUKEY**

<b>Categoría</b>	<b>Media estimada</b>	<b>Grupos</b>
MRCHL	7.976149	A
MACHL	15.98057	A
MSI	3.722534	B
MV	2.444088	B
TDM	3.045709	B
MPA	1.39125	B
TC	2.932905	B
TRE	1.466453	B
MCC	0.0752027	B
TD	1.052838	B

Se encontró que el mayor contenido de antocianinas lo contienen las cervezas elaboradas con malta de maíz, de estas la cerveza de malta de maíz azul (MACHL) es la que muestra mayor contenido (15.98 mg/L ECG) seguida por la de maíz rojo (7.47 mg/L EPG), lo cual concuerda con lo publicado por Salinas *et al.* (2012) quienes encontraron mayor contenido de antocianinas en granos de maíz azul (216.8-904 mg/kg ECG) que en maíz rojo (30.7-188.1 mg/Kg EPG).

La disminución en las concentraciones encontradas en las cerveza con respecto a los granos de maíz puede deberse a que durante el proceso de elaboracion de la cerveza, las atocianinas se degradan durante los cambios de temperatura y pH los cuales se dan durante el secado de la malta de maíz y la maceración del mosto, esta degradación términca puede darse mediante dos mecanismos según Simpson *et al.* (1976):

1. Hidrólisis del enlace 3-glicosídico
2. Ruptura hidrolítica del anillo pirilo, que degreda a un compiesto café insoluble

### 7.2.5. Polifenoles totales

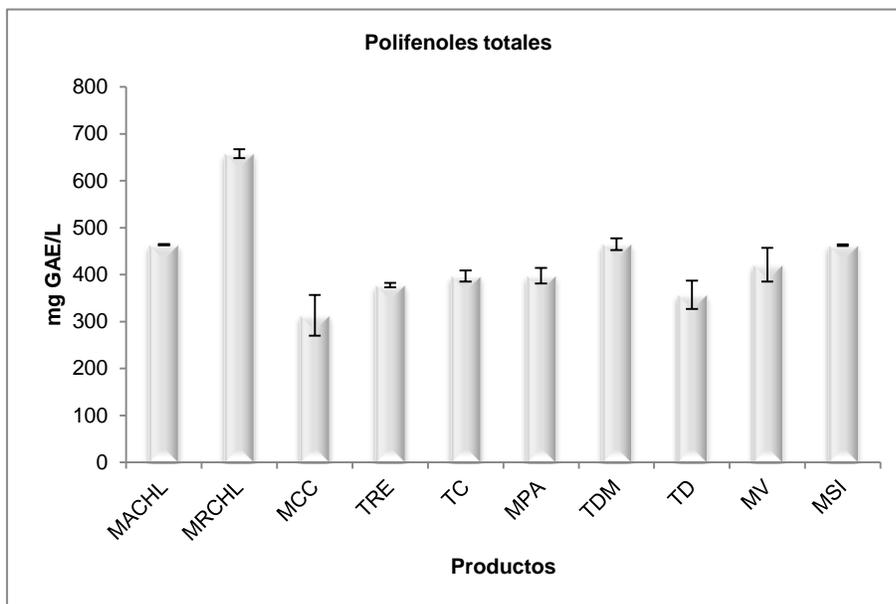
De la determinación de polifenoles totales llevada a cabo por el método del reactivo de Folin-Ciocalteu se obtuvieron los siguientes resultados:

**TABLA 7.21. CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES EN CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y DE MAÍZ**

Producto	mg GAE/L polifenoles totales
MACHL	463.88 ± 1.11
MRCHL	657.77 ± 9.72 <sup>a</sup>
MCC	313.33 ± 43.61
TRE	377.77 ± 4.72
TC	397.22 ± 11.66
MPA	397.77 ± 16.38
TDM	465 ± 12.78
TD	357.22 ± 30
MV	421.11 ± 35.83
MSI	462.77 ± 1.67

**Nota:** Los valores son expresados como medias ± desviación estándar del contenido de polifenoles totales en equivalentes de ácido gálico (mg GAE/L).  
a-Diferencia estadísticamente significativa.

**GRÁFICA 7.16. CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES EN CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y DE MAÍZ**



Los resultados del ANOVA se muestran en la tabla 7.22.

**TABLA 7.22. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CANTIDAD DE POLIFENOLES TOTALES PARA CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y MAÍZ**

<b>Fuente</b>	<b>GDL</b>	<b>SC</b>	<b>MC</b>	<b>F</b>	<b>Valor-p</b>
Muestra	9	0.128	0.014	4.604	0.013

El valor-p < 0.05 tiene un efecto estadísticamente significativo sobre cada producto con un 95% de confianza

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza, se observa que existe diferencia significativa ( $p < 0.013$ ) en al menos un tipo de cerveza debida al contenido de polifenoles totales. De la prueba de Tukey se obtienen dos grupos, uno con la cerveza de maíz rojo (MRCHL) y el segundo con la cerveza de maíz azul (MACHL) y las cervezas de cebada (Tabla 7.23).

**TABLA 7.23. GRUPOS OBTENIDOS DE ACUERDO EL CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES POR MEDIO DE LA PRUEBA DE TUKEY**

<b>Categoría</b>	<b>Media estimada</b>	<b>Grupos</b>
MRCHL	0.610	A
TDM	0.436	B
MACHL	0.435	B
MSI	0.434	B
MV	0.397	B
MPA	0.376	B
TC	0.375	B
TRE	0.358	B
TD	0.339	B
MCC	0.300	B

Para este caso la cerveza de maíz rojo mostró mayor contenido de polifenoles totales (657.7 mg/L) comparada con las cervezas de malta de cebada e incluso que la cerveza de maíz azul, las cuales mostraron valores entre 313-463 mg/L, concordando con lo reportado por Granato *et al*, (2010) en cuyo estudio se determinó

la concentración de polifenoles en cervezas tipo “Lager” y “Ale” encontrando valores que oscilan entre 119-525 mg GAE/L, con respecto a estudios relacionados con contenido de polifenoles en granos de maíz, Alarcón *et al*, (2011) reportó que en extractos de maíz azul su contenido era de 4.86 g GAE/kg mientras que en extracto de tortilla elaborada con el mismo grano se reporta 2.54 g GAE/kg, por lo tanto, el menor contenido de polifenoles se atribuye al proceso térmico al cual se somete el maíz durante la elaboración de cervezas lo que provoca la degradación de estos compuestos (Actividad anticancerígena “in vitro” de extractos de maíz y tortilla azul, 2011).

La cerveza de maíz rojo es la que presenta mayor contenido de polifenoles, siendo significativamente diferente del resto de las cervezas ( $p < 0.013$ ), concordando con los resultados obtenidos del análisis sensorial para las características de apariencia (Gráfica 7.10), donde observamos que este producto muestra mayor turbidez, la cual puede ser causada además de las levaduras presentes en el medio, por la presencia de polifenoles los cuales se asocian con la formación de turbidez al asociarse con ciertas proteínas, este proceso depende del pH de la cerveza, su contenido alcohólico, fuerza iónica así como la composición polifenólica, además la presencia de polifenoles también influye en el sabor final de la cerveza, pero un alto contenido de estos produce mayor astringencia y amargor, características que pueden ser no agradables para el consumidor (Aron , *et al.*, 2010).

#### 7.2.6. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante fue medida por el método del radical libre DPPH, los resultados obtenidos se muestran a continuación:

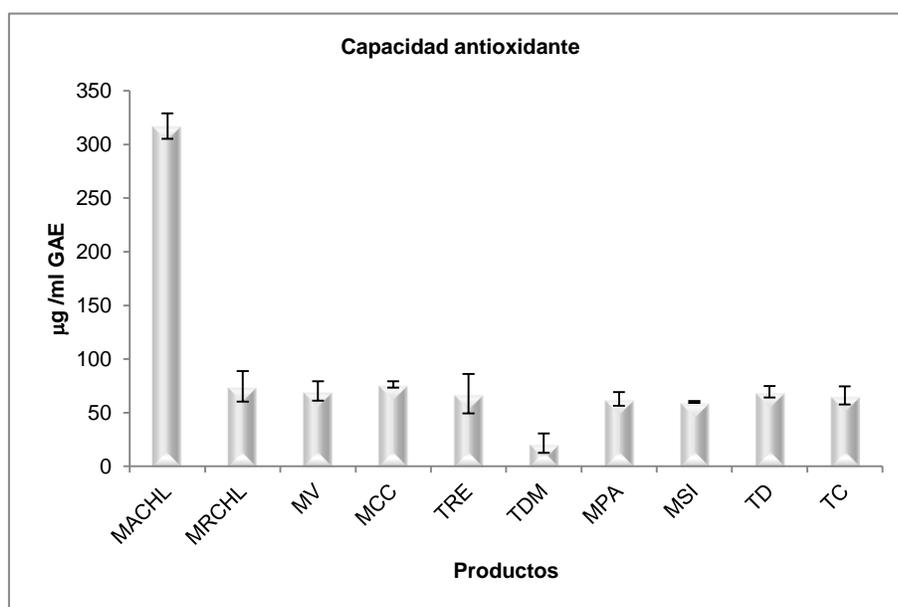
**TABLA 7.24. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y PORCENTAJE DE INHIBICIÓN PROMEDIO DE CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y DE MAÍZ**

Producto	$\mu\text{g/ml}$ ácido gálico	% de inhibición
MACHL	$317.09 \pm 5.46^a$	$99.34 \pm 2.50$
MRCHL	$74.5 \pm 8.35^b$	$73.54 \pm 3.83$
MV	$70.18 \pm 11.89^b$	$71.56 \pm 5.45$
MCC	$76.31 \pm 14.14^b$	$74.37 \pm 6.48$
TRE	$67.68 \pm 8.99^b$	$70.41 \pm 4.12$
TDM	$21.54 \pm 2.89^c$	$49.27 \pm 1.32$
MPA	$62.90 \pm 18.32^b$	$68.22 \pm 8.39$
MSI	$59.95 \pm 8.99^b$	$66.89 \pm 4.12$
TD	$69.5 \pm 6.42^b$	$71.25 \pm 2.94$
TC	$66.09 \pm 0.96^b$	$69.68 \pm 0.44$

**Nota:** Los valores son expresados como medias  $\pm$  desviación estándar de la capacidad antioxidante.

a-Diferencia estadísticamente significativa.

**GRÁFICA 7.17. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y DE MAÍZ**



Los resultados del ANOVA se muestran en la tabla 7.25:

**TABLA 7.25. ANÁLISIS DE VARIANZA DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE  
PARA CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y MAÍZ**

<b>Fuente</b>	<b>GDL</b>	<b>SC</b>	<b>MC</b>	<b>F</b>	<b>Valor-p</b>
Productos	9	76167.6864	8463.07626	21.8390324	1.9686E-05

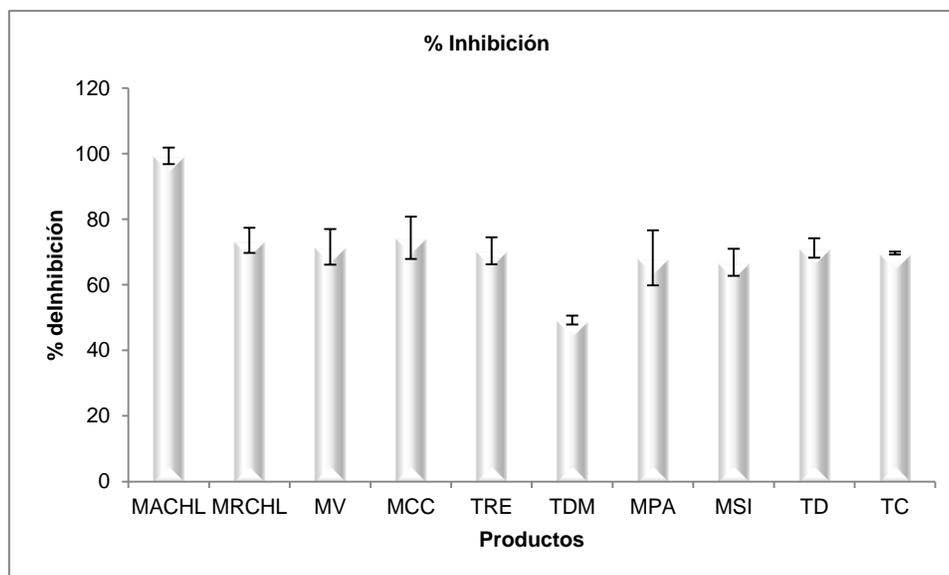
El valor-p < 0.05 tiene un efecto estadísticamente significativo sobre cada producto con un 95% de confianza

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza, se observa que existe diferencia significativa ( $p < 0.0001$ ) en al menos un tipo de cerveza debida a su capacidad antioxidante. De la prueba de Tukey se obtienen tres grupos, uno con la cerveza de maíz azul (MACHL) la cual presenta la mayor capacidad antioxidante y el segundo con la cerveza de maíz rojo (MRCHL) y las cervezas de cebada MSI, TC, TRE, MV, MCC, TD, MPA y el tercero con la cerveza de cebada TDM siendo esta la que presenta la menor capacidad antioxidante.

**TABLA 7.26. GRUPOS OBTENIDOS DE ACUERDO A LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE  
POR MEDIO DE LA PRUEBA DE TUKEY**

<b>Categoría</b>	<b>Media estimada</b>	<b>Grupos</b>
MACHL	317.09	A
MRCHL	74.5	B
MSI	59.95	B
TC	66.09	B
TRE	67.68	B
MV	70.18	B
MCC	76.31	B
TD	69.50	B
MPA	62.90	B
TDM	21.54	C

GRÁFICA 7.18. PORCENTAJE DE INHIBICIÓN PROMEDIO DE LAS CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y DE MAÍZ

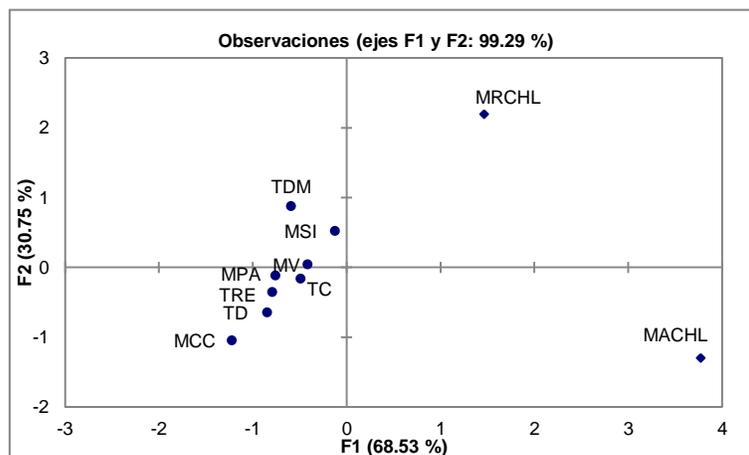


Con los resultados anteriores se puede observar que en general la actividad antioxidante está relacionada tanto con el contenido de antocianinas totales como con el contenido de polifenoles totales, sin embargo algunas cervezas presentaron una actividad antioxidante superior a lo esperado o por el contrario, una menor actividad que no se relaciona con el contenido de polifenoles o con el contenido de antocianinas, por ejemplo para las cervezas de maíz azul con un alto contenido de antocianinas pero un bajo contenido de polifenoles, se presenta la mayor capacidad antioxidante, comparado con las cervezas de maíz rojo que presentan menor contenido de antocianinas pero alto contenido de polifenoles se presenta una menor capacidad antioxidante, para las cervezas de malta de cebada, la mayoría presentan un comportamiento similar al anterior, lo cual indica que la capacidad antioxidante se puede deber al efecto combinado de diversos factores, como la presencia de otro tipo de compuestos antioxidantes.

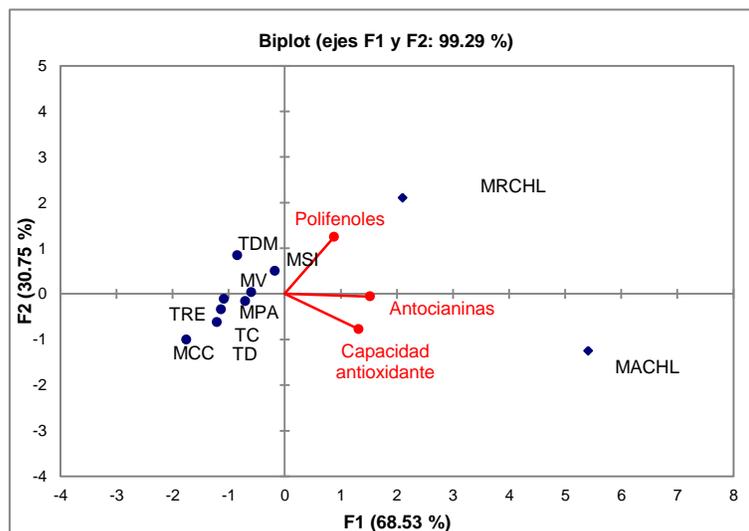
### 7.2.7. PCA para antocianinas totales, polifenoles totales y capacidad antioxidante.

Se realizó un análisis de componentes principales para los datos anteriores, los resultados se muestran a continuación:

GRÁFICA 7.19. GRÁFICA DE SCORES DE LOS PRIMEROS COMPONENTES PRINCIPALES (99.29%), PARA ANTOCIANINAS, POLIFENOLES TOTALES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y DE MAÍZ



GRÁFICA 7.20. GRÁFICA DE LOADINGS Y SCORES DE LOS PRIMEROS COMPONENTES PRINCIPALES (99.29%), PARA ANTOCIANINAS, POLIFENOLES TOTALES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA Y DE MAÍZ



El componente 1 y 2 explican el 99.29% de la variabilidad total, explicando el 68.53% y el 30.75% respectivamente, el componente 1 (F1) separa del lado positivo (derecha) las cervezas de malta de maíz, correlacionándolas con los tres parámetros que son polifenoles totales, antocianinas totales y DPPH o actividad antioxidante y del lado negativo (izquierdo) se encuentran las cervezas de malta de cebada, lo cual concuerda con lo obtenido ya que las cervezas de malta de maíz se asocian a un mayor contenido de estos parámetros así como a una mayor actividad antioxidante, comparadas con las cervezas de cebada.

#### 7.2.8. Correlación de composición antioxidante, compuestos volátiles y atributos sensoriales por medio del análisis factorial múltiple (MFA).

Para obtener la relación entre los compuestos antioxidantes (antocianinas, polifenoles, capacidad antioxidante) con los compuestos volátiles y los atributos sensoriales se realizó un análisis factorial múltiple.

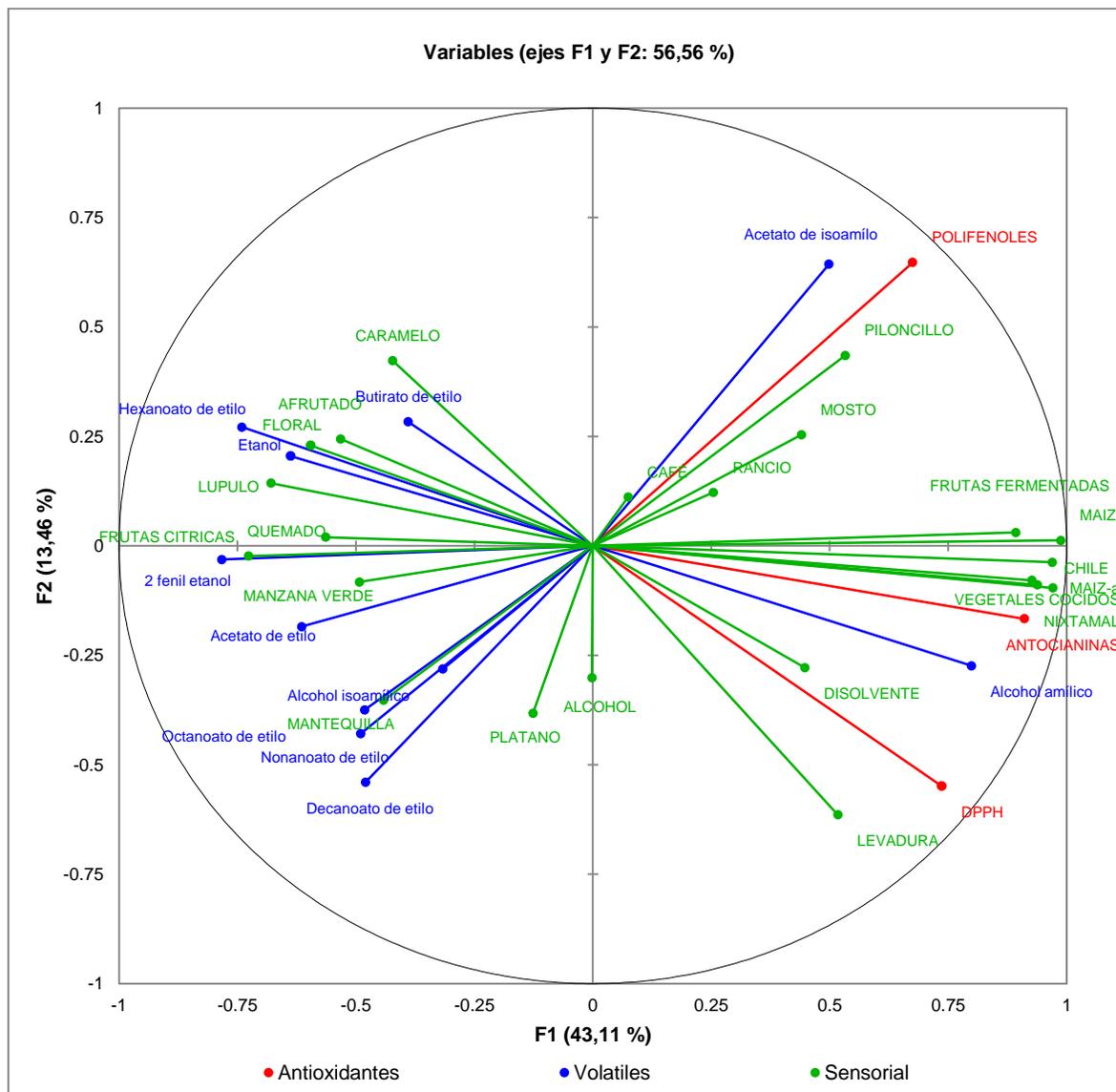
Los coeficientes de correlación  $R_v$  obtenidos son:

**TABLA 7.27. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN  $R_v$  DE COMPOSICIÓN ANTIOXIDANTES, VOLÁTILES Y ATRIBUTOS SENSORIALES**

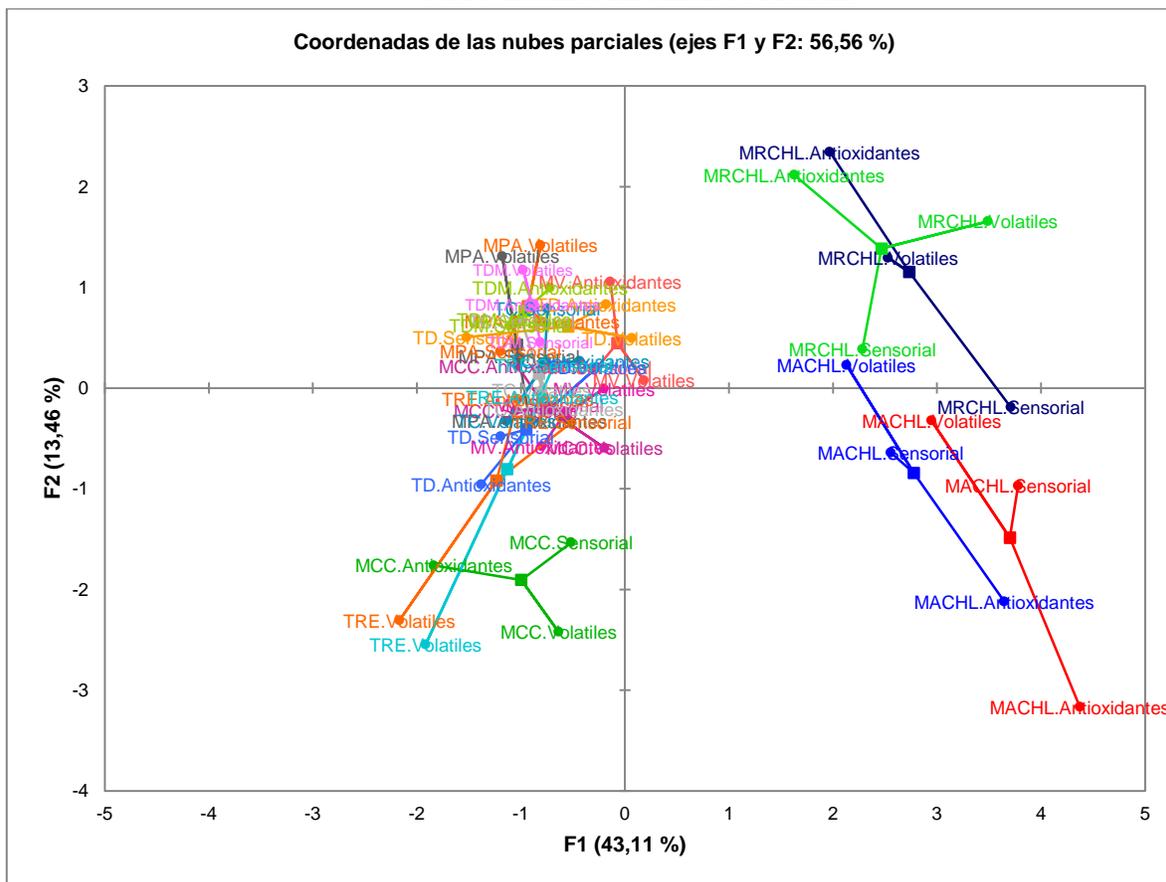
	Antioxidantes	Volátiles	Sensorial	MFA
Antioxidantes	1.000	0.583	0.713	0.868
Volátiles	0.583	1.000	0.646	0.859
Sensorial	0.713	0.646	1.000	0.896
MFA	0.868	0.859	0.896	1.000

Los coeficientes de correlación  $R_v$  para antioxidantes- sensorial fue de 0.713 y esta fue la mayor correlación encontrada seguida de sensorial-volátiles con un  $R_v$  de 0.646 misma que se había encontrado anteriormente (Tabla 7.17), por lo que se deduce que el contenido de antioxidantes puede contribuir a explicar los atributos sensoriales y por lo tanto, a diferenciar entre productos.

GRÁFICA 7.21. GRÁFICA DE SOCRS Y LOADINGS (MFA) PARA ATRIBUTOS SENSORIALES, 11 COMPUESTOS VOLÁTILES Y PERFIL ANTIOXIDANTE EN LAS CERVEZAS DE CEBADA Y DE MAÍZ.



GRÁFICA 7.22. CORRELACIÓN DEL ANÁLISIS SENSORIAL, COMPOSICIÓN VOLÁTIL Y PERFIL DE ANTIOXIDANTES PARA CERVEZAS DE CEBADA Y DE MAÍZ.



En la gráfica 7.21 se observa que existe mayor diferencia entre las variables antioxidantes- volátiles para las cervezas de maíz MRCHL y MACHL (derecha) que para las cervezas de cebada (izquierda), por lo que se puede deducir que la composición antioxidante de las cervezas de maíz influye en la percepción sensorial de dichas bebidas reflejándose en los atributos sensoriales que las diferencian.

Por otro lado, para las cervezas de cebada existe una mayor proximidad entre la composición volátil con los atributos sensoriales que con su composición antioxidante, por lo que sus diferencias sensoriales pueden ser mejor explicadas por su composición volátil más que por su composición antioxidante.

## CONCLUSIONES

Se confirmó la hipótesis planteada ya que la diferencia de ingredientes empleados para la producción de cerveza (malta de maíz vs malta de cebada) permitió la caracterización sensorial e instrumental tanto de las cervezas elaboradas con malta de maíz como de las elaboradas con malta de cebada.

- Existen diferencias sensoriales significativas en las cervezas de malta de maíz y de cebada relacionadas a su composición, generando nuevos atributos sensoriales como olor y aroma a maíz, nixtamal, piloncillo, cacao y chile, los cuales no se encuentran en la rueda del aroma de la cerveza de Meilgaard y que además son típicos de la gastronomía mexicana.
- Se logró la correlación de algunos de los compuestos volátiles obtenidos por cromatografía de gases (hexanoato de etilo, butirato de etilo, acetato de etilo, etanol) con algunos atributos sensoriales de olor y aroma (floral, caramelo, mantequilla, lúpulo, frutas cítricas).
- Se observaron diferencias en la composición de compuestos antioxidantes como las antocianinas y polifenoles totales, las cuales pueden ser atribuidas a los ingredientes empleados para la elaboración de cada tipo de cerveza.
- Diversos parámetros durante la elaboración de la cerveza, como la variedad y tipo de cereal empleado para el proceso del malteado, así como la temperatura, el pH, el tipo de lúpulo, tipo de levadura, etcétera, influyen en la calidad sensorial y composición química de las cervezas.
- Los atributos sensoriales que caracterizan las cervezas de maíz presentan una mayor correlación con su composición antioxidante que con su perfil de compuestos volátiles.
- El maíz resultó ser una fuente importante de compuestos antioxidantes, confiriéndole a las cervezas elaboradas con este grano propiedades funcionales definidas con un alto potencial nutracéutico.

## ANEXOS

### ANEXO 1. Cuestionario para desarrollo de vocabulario de cervezas de cebada y de maíz.

#### Análisis Sensorial Cualitativo de Cervezas

**Nombre:** \_\_\_\_\_ **Fecha:** \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Analiza sensorialmente cada una de las muestras en el aspecto vista, olor, gusto, aroma en boca y aspectos generales. Para cada una se muestra una serie de descriptores, especifica si se encuentran o no en la muestra y si encuentras algún otro que no se encuentre en la lista anótalo en el espacio indicado.

#### APARIENCIA

DESCRIPTOR	MUESTRA XXX	MUESTRA XXX
COLOR		
ESPUMA		
GASIFICACIÓN		
LIMPIEZA		
OTRA		

#### OLOR

DESCRIPTOR	MUESTRA XXX	MUESTRA XXX
FLORAL		
PLÁTANO		
MANZANA VERDE		
FRUTAS		
CLAVO		
MANTEQUILLA		
LEVADURA		
MAÍZ DULCE		
ALMENDRA		
VEGETALES COCIDOS		
HIERBA CORTADA		
MELAZA		
ALCOHOL		
DISOLVENTE		
NIXTAMAL		
OTROS		

#### GUSTO

DESCRIPTOR	MUESTRA XXX	MUESTRA XXX
DULCE		
SALADO		
AMARGO		
ACIDO		
OTRA		

**AROMA EN BOCA**

<b>DESCRIPTOR</b>	<b>MUESTRA XXX</b>	<b>MUESTRA XXX</b>
FRUTAS CÍTRICAS		
FLORES		
MANZANA VERDE		
MAÍZ COCIDO		
LÚPULO		
VEGETALES COCIDOS		
PAN REMOJADO		
TORTILLA		
OTROS:		

**SENSACIONES EN BOCA**

<b>DESCRIPTOR</b>	<b>MUESTRA XXX</b>	<b>MUESTRA XXX</b>
METALICO		
ASTRINGENTE		
CUERPO		

ANEXO 2. Guía de color de la SRM

SRM y COLOR	SRM y COLOR
50	25
49	24
48	23
47	22
46	21
45	20
44	19
43	18
42	17
41	16
40	15
39	14
38	13
37	12
36	11
35	10
34	9
33	8
32	7
31	6
30	5
29	4
28	3
27	2
26	1
	0

ANEXO 3. Imágenes de referencia de los atributos espuma, gasificación y turbidez

## ESPUMA



## GASIFICACIÓN



Nula  
(Mínima)

Abundante  
(Máxima)

## TURBIDEZ



Cristalina  
(Mínima)

Poco transparente

Semiturbia

Opaca  
(Máxima)

ANEXO 4. Ejemplo de hoja de respuesta para cuantificación de atributos.

NOMBRE: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

**INSTRUCCIONES:** PRUEBA CADA UNA DE LAS MUESTRAS DE IZQUIERDA A DERECHA Y MARCA SOBRE LA LÍNEA INDICANDO EL NÚMERO DE LA MUESTRA DE ACUERDO A LA INTENSIDAD QUE PERCIBAS DE CADA DESCRIPTOR. TOMA AGUA ENTRE CADA MUESTRA.

**APARIENCIA**

Color	_____
Color espuma	_____
Espuma	_____
Persistencia de espuma	_____
Gasificación	_____
Turbidez	_____
Partículas suspendidas	_____

**OLOR**

Floral	_____
Plátano	_____
Afrutado	_____
Manzana Verde	_____
Mantequilla	_____
Levadura	_____
Maíz	_____
Nixtamal	_____
Frutas Fermentadas	_____

ANEXO 5. Descriptores generados para cervezas de maíz.

TABLA A5.1. DESCRIPTORES GENERADOS DURANTE EL ENTRENAMIENTO PARA CERVEZAS DE MALTA DE MAÍZ

<b>APARIENCIA (4)</b>	<b>GUSTO (4)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Color</li> <li>✓ Espuma</li> <li>✓ Gasificación</li> <li>✓ Limpidez</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dulce</li> <li>✓ Salado</li> <li>✓ Amargo</li> <li>✓ Ácido</li> </ul>
<b>OLOR (29)</b>	<b>AROMA EN BOCA (18)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Floral</li> <li>✓ Plátano</li> <li>✓ Manzana verde</li> <li>✓ Frutas</li> <li>✓ Clavo</li> <li>✓ Mantequilla</li> <li>✓ Levadura</li> <li>✓ Maíz dulce</li> <li>✓ Almendra</li> <li>✓ Vegetales cocidos</li> <li>✓ Hierba cortada</li> <li>✓ Melaza</li> <li>✓ Alcohol</li> <li>✓ Disolvente</li> <li>✓ Nixtamal</li> <li>✓ Espinacas</li> <li>✓ Chile ancho</li> <li>✓ Maíz cocido</li> <li>✓ Caramelo</li> <li>✓ Tostado</li> <li>✓ Tortilla</li> <li>✓ Chocolate</li> <li>✓ Tierra húmeda</li> <li>✓ Madera</li> <li>✓ Granos</li> <li>✓ Cacao</li> <li>✓ Cítrico</li> <li>✓ Tamarindo</li> <li>✓ Miel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Frutas cítricas</li> <li>✓ Flores</li> <li>✓ Manzana verde</li> <li>✓ Maíz cocido</li> <li>✓ Lúpulo</li> <li>✓ Vegetales cocidos</li> <li>✓ Pan remojado</li> <li>✓ Tortilla</li> <li>✓ Chile</li> <li>✓ Tepache</li> <li>✓ Fermentado</li> <li>✓ Alcohol</li> <li>✓ Limón</li> <li>✓ Hierba, pasto</li> <li>✓ Malta</li> <li>✓ Caramelo</li> <li>✓ Almendra</li> <li>✓ Tamarindo</li> </ul>
<b>SENSACIONES EN BOCA (3)</b>	<b>CONSISTENCIA (1)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Metálico</li> <li>✓ Astringente</li> <li>✓ Picante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cuerpo</li> </ul>

ANEXO 6. Descriptores generados para cervezas de cebada.

**TABLA A6.1. DESCRIPTORES GENERADOS DURANTE EL ENTRENAMIENTO PARA CERVEZAS DE MALTA DE CEBADA**

<b>APARIENCIA (6)</b>	<b>GUSTO (4)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Color</li> <li>✓ Color de espuma</li> <li>✓ Espuma</li> <li>✓ Persistencia de espuma</li> <li>✓ Gasificación</li> <li>✓ Turbidez</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dulce</li> <li>✓ Salado</li> <li>✓ Amargo</li> <li>✓ Ácido</li> </ul>
<b>OLOR (32)</b>	<b>AROMA EN BOCA (20)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Floral</li> <li>✓ Plátano</li> <li>✓ Manzana verde</li> <li>✓ Frutas</li> <li>✓ Clavo</li> <li>✓ Mantequilla</li> <li>✓ Levadura</li> <li>✓ Maíz dulce</li> <li>✓ Maíz cocido</li> <li>✓ Almendra</li> <li>✓ Vegetales cocidos</li> <li>✓ Hierba cortada</li> <li>✓ Melaza</li> <li>✓ Alcohol</li> <li>✓ Disolvente</li> <li>✓ Nixtamal</li> <li>✓ Espinacas</li> <li>✓ Chile ancho</li> <li>✓ Maíz cocido</li> <li>✓ Caramelo</li> <li>✓ Tostado</li> <li>✓ Tortilla</li> <li>✓ Chocolate</li> <li>✓ Tierra húmeda</li> <li>✓ Madera</li> <li>✓ Granos</li> <li>✓ Cacao</li> <li>✓ Cítrico</li> <li>✓ Tamarindo</li> <li>✓ Miel</li> <li>✓ Frutas fermentadas</li> <li>✓ Café</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Frutas cítricas</li> <li>✓ Flores</li> <li>✓ Manzana verde</li> <li>✓ Maíz cocido</li> <li>✓ Lúpulo</li> <li>✓ Vegetales cocidos</li> <li>✓ Pan remojado</li> <li>✓ Tortilla</li> <li>✓ Chile</li> <li>✓ Tepache</li> <li>✓ Fermentado</li> <li>✓ Alcohol</li> <li>✓ Limón</li> <li>✓ Hierba, pasto</li> <li>✓ Malta</li> <li>✓ Caramelo</li> <li>✓ Almendra</li> <li>✓ Tamarindo</li> <li>✓ Quemado</li> <li>✓ Café</li> </ul>
<b>SENSACIONES EN BOCA (3)</b>	<b>CONSISTENCIA (1)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Metálico</li> <li>✓ Astringente</li> <li>✓ Picante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cuerpo</li> </ul>

ANEXO 7. Definiciones de los descriptores generados durante consenso de las cervezas de maíz.

**TABLA A7.1. VOCABULARIO DE LOS DESCRIPTORES GENERADOS DURANTE EL ENTRENAMIENTO PARA CERVEZAS DE MALTA DE MAÍZ Y CEBADA**

VOCABULARIO GENERADO DURANTE LAS SESIONES DE CONSENSO		
	DESCRIPTOR	DEFINICIÓN
APARIENCIA	Color	Se evaluará de acuerdo a la guía de referencia de color, que emplea el Standard Reference Method (SRM) para especificar el color de las cervezas
	Espuma	Cantidad de espuma formada en el vaso. Puede ir de nula, poca, moderada, abundante.
	Color de espuma	Se evaluará de acuerdo a la guía de referencia de color, que emplea el Standard Reference Method (SRM) para especificar el color de las cervezas.
	Persistencia espuma	Duración de la espuma en el vaso. Va de sin persistencia, poco, persistente, muy persistente, no desaparece
	Gasificación	Cantidad de gas o carbonatación en la cerveza. Va de sin gas, casi sin gas, poco gas, equilibrada, abundante
	Turbidez	Que tan transparente se encuentra la cerveza. Puede ir de cristalina, poco transparente, turbia, opaca
	Partículas suspendidas	Cantidad de partículas suspendidas en la cerveza o presencia de sedimentos
OLOR	Floral	Olor general a flores
	Plátano	Olor a plátano maduro
	Frutal	Olor general a frutas, afrutado
	Manzana verde	Olor a manzana verde
	Mantequilla	Olor a mantequilla
	Levadura	Olor a levadura de cerveza
	Maíz dulce	Olor a tamal
	Maíz cocido	Olor a atole de masa, esquites
	Verduras cocidas	Olor a calabazas, brócoli cocido, sopa de verduras.
	Melaza	Olor a dulce
	Nixtamal	Olor a masa para tortillas
	Frutas fermentadas	Olor a tepache
	Chile	Olor a chiles secos
	Alcohol	Olor a alcohol
Disolvente	Olor a disolvente (estándar)	
Tortilla	Olor a tortillas de maíz	
GUSTO	Dulce	Gusto básico dulce
	Salado	Gusto básico salado
	Amargo	Gusto básico amargo
	Ácido	Gusto básico ácido
AROMA EN BOCA	Frutas cítricas	Aroma a frutas cítricas como limón, naranja, toronja
	Manzana verde	Aroma a manzana verde
	Maíz cocido	Aroma a tamal
	Lúpulo	Aroma a lúpulo
Vegetales cocidos	Aroma a vegetales cocidos como calabazas, brócoli, chayotes.	
SENSACIONES EN BOCA	Picante	Sensación de ardor en la lengua y boca
	Metálico	Sensación o sabor a hierro, monedas, metal
	Astringente	Sensación de sequedad en la boca después de tomar la bebida
	Carbonatación	Sensación de gasificación o burbujas en la boca
CONSISTENCIA	Cuerpo	Sensación de plenitud que recibimos al ponemos la cerveza en la boca. Cervezas con mucho cuerpo cuando al beber poca cantidad de ella aparecen sensaciones intensas y cervezas con poco cuerpo cuando la sensación es similar a tomar agua.

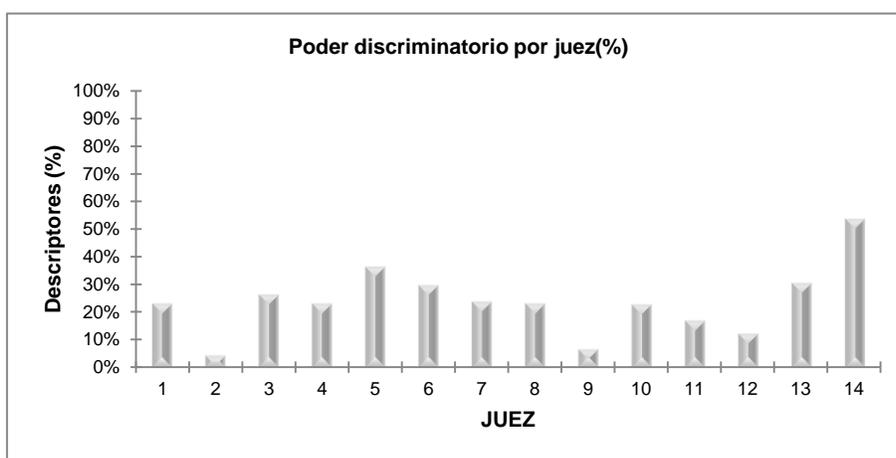
ANEXO 8. Resultados de la media geométrica para la re-selección de descriptores

DESCRIPTOR	MEDIA GEOMÉTRICA	% ACUMULADO	%
Picante (s)	0.62	100	4.68
Amargo (g)	0.55	95.31	4.16
Nixtamal (o)	0.54	91.15	4.11
Lúpulo (a)	0.53	87.04	4.02
Cuerpo (c)	0.49	83.01	3.74
Astringente (s)	0.49	79.27	3.72
Metálico (s)	0.46	75.54	3.53
Floral (o)	0.46	72.00	3.49
Chile (a)	0.44	68.51	3.38
Caramelo (o)	0.43	65.12	3.27
Frutas cítricas (a)	0.42	61.85	3.18
Carbonatación	0.41	58.66	3.15
Afrutado (o)	0.41	55.51	3.12
Acido (g)	0.40	52.39	3.08
Salado (g)	0.38	49.30	2.93
Melaza (o)	0.38	46.36	2.91
Manzana verde (o)	0.37	43.45	2.80
Alcohol (o)	0.35	40.65	2.67
Quemado (a)	0.32	37.97	2.48
Disolvente (o)	0.32	35.48	2.48
Manzana verde (a)	0.31	33.00	2.40
Levadura (o)	0.31	30.59	2.37
Plátano (o)	0.31	28.22	2.37
Dulce (g)	0.31	25.85	2.34
Café (a)	0.29	23.50	2.20
Frutas fermentadas(o)	0.29	21.30	2.18
Mantequilla (o)	0.28	19.12	2.17
Verduras cocidas (o)	0.25	16.95	1.93
Café (o)	0.25	15.01	1.92
Rancio (a)	0.25	13.09	1.90
Vegetales cocidos (a)	0.25	11.18	1.89
Cacao (o)	0.22	<b>9.28</b>	1.68
Maíz dulce (o)	0.22	<b>7.60</b>	1.67
Cacao (a)	0.21	<b>5.93</b>	1.64
Maíz cocido (o)	0.20	<b>4.28</b>	1.58
Maíz cocido (a)	0.18	<b>2.70</b>	1.40
Tortilla (a)	0.17	<b>1.30</b>	1.30
TOTAL	13.26		100

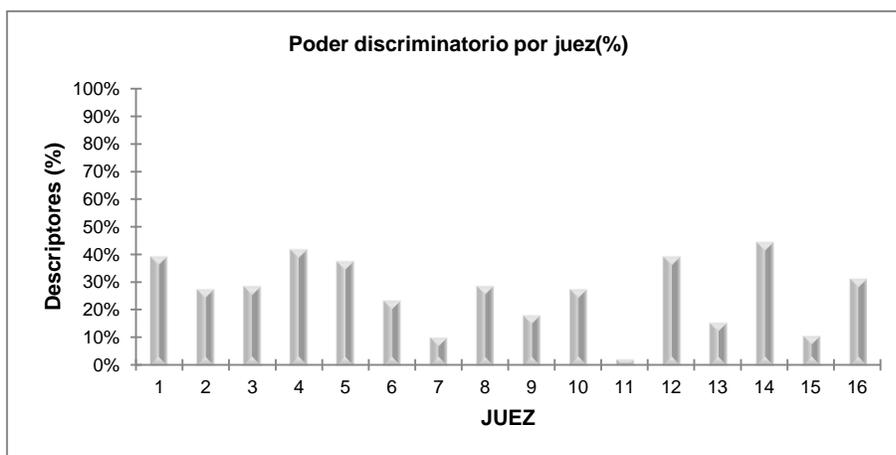
## ANEXO 9. Análisis de panel.

La descripción del análisis de panel se muestra a continuación: El número de descriptores que cada juez es capaz de emplear para diferenciar entre productos se muestra como porcentaje en las siguientes gráficas (Gráfica A9.1 y A9.2):

GRÁFICA A9.1. PORCENTAJE DE ATRIBUTOS CON PODER DISCRIMINATORIO PARA CADA JUEZ AL INICIO DEL ENTRENAMIENTO



GRÁFICA A9.2. PORCENTAJE DE ATRIBUTOS CON PODER DISCRIMINATORIO PARA CADA JUEZ AL TÉRMINO DEL ENTRENAMIENTO



La etapa de entrenamiento comenzó con 14 jueces y durante el desarrollo de la misma se descartaron 3 de ellos ya que no completaron toda la etapa (juez 3, 12 y 13 de la gráfica A9.1), por lo que se reclutaron nuevos jueces para reemplazar los faltantes, finalmente se incorporaron 5 jueces más quedando un total de 16 jueces (jueces 3, 12, 13, 14 y 15 de la gráfica A9.2), de las gráficas anteriores se puede observar que en general los jueces aumentaron su capacidad discriminante lo que confirma que la etapa de entrenamiento se realizó con éxito ya que lograron conceptualizar los atributos y emplearlos para la diferenciación de las muestras. El juez 11, que para este caso es el mismo de la gráfica A9.1 y A9.2 disminuyó su capacidad de discriminación por lo que fue descartado para la evaluación final.

A continuación se muestran los resultados del ANOVA por juez, en la que se pueden observar cuales son los atributos que para cada juez son significativos ( $p < 0.05$ ), y por lo tanto son los que ese juez emplea para diferenciar entre muestras (Tabla A4). Por ejemplo para el juez 1 algunos de los atributos significativos ( $p < 0.05$ ) son color, turbidez, partículas suspendidas, floral, afrutado, manzana verde, maíz, nixtamal, caramelo, piloncillo, por mencionar algunos, y son estos los que ese juez ocupa para la diferenciación de las muestras, por otro lado, el juez 2 emplea los términos espuma, gasificación, levadura, salado, amargo, lúpulo, entre otros, para hacer la misma diferenciación entre los productos.

**TABLA A9.1. ANÁLISIS DE VARIANZA POR JUEZ PARA CADA DESCRIPTOR SENSORIAL**

JUEZ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DESCRIPTOR	Valor-p	Valor-p	Valor-p	Valor-p	Valor-p	Valor-p	Valor-p	Valor-p	Valor-p	Valor-p	Valor-p	Valor-p	Valor-p	Valor-p	Valor-p	Valor-p
Color	<b>0.000</b>	0.087	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.001</b>	<b>0.001</b>	<b>0.001</b>	<b>0.037</b>	<b>0.027</b>	<b>0.000</b>	0.381	0.399	<b>0.004</b>	0.972	<b>0.003</b>	<b>0.000</b>
Color espuma	<b>0.001</b>	0.734	<b>0.000</b>	<b>0.007</b>	<b>0.010</b>	<b>0.003</b>	0.138	0.642	0.168	0.066	0.891	0.280	0.087	<b>0.000</b>	0.446	0.138
Espuma	0.087	<b>0.003</b>	0.052	0.441	0.063	<b>0.039</b>	0.077	<b>0.000</b>	0.260	<b>0.004</b>	0.469	<b>0.005</b>	0.281	<b>0.027</b>	0.175	0.193
Persistencia espuma	0.247	<b>0.009</b>	0.202	0.364	0.052	0.445	0.086	<b>0.031</b>	0.056	<b>0.010</b>	0.220	<b>0.029</b>	0.117	0.233	0.289	0.095
Gasificación	0.649	<b>0.004</b>	<b>0.026</b>	0.216	0.126	0.559	0.085	0.075	<b>0.046</b>	0.061	0.440	<b>0.038</b>	0.675	0.412	0.131	<b>0.040</b>
Turbidez	<b>&lt;0.0001</b>	0.655	0.259	<b>0.015</b>	<b>0.008</b>	0.536	0.726	<b>0.009</b>	0.402	<b>0.007</b>	0.603	<b>0.000</b>	0.168	<b>0.000</b>	0.085	0.096
Partículas suspendidas	<b>0.029</b>	0.772	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	0.794	0.495	0.572	0.794	0.409		0.310	<b>0.000</b>	0.532	<b>0.000</b>		0.495
Floral	<b>0.033</b>	0.076	0.096	0.063	0.354	0.659	0.452	<b>0.034</b>	0.654	0.635	0.553	0.074	0.091	<b>0.003</b>	0.237	0.178
Plátano	0.114	0.166	0.447	<b>0.001</b>	<b>0.012</b>	0.312	0.152	<b>0.019</b>	0.095	0.529	0.602	0.404	0.252	0.560	0.183	0.772
Afrutado	<b>0.029</b>	<b>0.000</b>	0.085	0.150	0.143	0.564	0.325	0.582	0.116	0.467	0.513	<b>0.022</b>	0.291	0.177	0.262	0.419
Manzana verde	<b>0.014</b>	0.351	<b>0.001</b>	<b>0.046</b>	0.103	0.172	0.810	0.199	0.250	0.527	0.063	0.063	0.766	<b>0.039</b>	0.698	<b>0.001</b>
Mantequilla	<b>0.025</b>	0.570	<b>0.004</b>	<b>0.348</b>	<b>0.003</b>	0.658	0.634	0.367	0.113	0.495	0.605	0.537	0.564	0.259	0.144	0.724
Levadura	0.451	<b>0.016</b>	0.286	0.675	<b>0.000</b>	0.796	0.163	0.388	0.628	<b>0.001</b>	0.521	0.817	0.683	<b>0.021</b>	<b>0.001</b>	<b>0.000</b>
Maíz	<b>&lt;0.0001</b>	0.058	0.056	0.073	0.794	<b>0.001</b>	0.159	0.122	0.075	0.641	0.324	<b>0.000</b>	0.292	<b>0.000</b>	0.127	0.495
Nixtamal	<b>0.001</b>	0.152	0.246	<b>0.015</b>	0.794	0.528	0.565	0.685	0.276	0.495	0.633	<b>0.002</b>	0.094	<b>0.000</b>	<b>0.004</b>	<b>0.001</b>
Mosto	0.198	0.547	<b>0.049</b>	0.095	0.366	0.532	0.377	0.233	<b>0.015</b>	0.836	0.327	<b>0.038</b>	0.462	<b>0.004</b>	0.081	0.536
Frutas fermentadas	<b>0.048</b>	0.682	<b>0.024</b>	0.361	<b>0.004</b>	0.831	<b>0.006</b>	0.444	0.340	<b>0.010</b>	0.084	0.079	0.636	0.681	0.290	0.605
Alcohol	0.064		0.051	0.165	<b>0.036</b>	0.691	<b>0.003</b>	0.319	0.496	0.592	0.653	0.864	<b>0.009</b>	0.305	0.103	0.303
Disolvente	0.184		0.742	0.359	0.851	0.708	0.126	0.056	0.803	0.633	0.700	0.483	0.211	0.299	0.221	
Caramelo	<b>0.029</b>	0.338	<b>0.002</b>	0.389	<b>0.000</b>	0.152	0.614	0.735	<b>0.030</b>	0.137	0.302	0.251	0.463	<b>0.013</b>	0.098	0.220
Piloncillo	<b>0.020</b>	0.211	0.075	0.161	<b>0.007</b>	0.165	0.381	0.860	0.274	0.100	0.351	<b>0.002</b>	0.839	0.452		0.099
Dulce	0.739	0.514	0.743	0.555	0.311	<b>0.012</b>	0.740	0.736	<b>0.015</b>	0.131	0.948	0.675	0.169	0.086	0.224	0.098
Salado	0.288	<b>0.042</b>	0.287	0.101	0.700	0.210	0.690	0.155	0.269	0.445	0.651	0.088	0.869	0.102	0.594	<b>0.001</b>
Amargo	0.602	<b>0.003</b>	0.390	<b>0.006</b>	0.152	0.500	0.078	0.289	0.092	<b>0.003</b>	0.062	0.585	0.131	0.212	0.563	0.766
Acido	0.779	0.207	0.052	0.146	0.403	0.160	0.549	0.776	0.252	0.478	0.387	0.327	0.709	0.327	0.392	<b>0.000</b>
Frutas cítricas	0.169	0.855	0.644	<b>0.007</b>	<b>0.018</b>	0.252	0.307	0.966	0.533	<b>0.008</b>	0.230	0.600	0.309	<b>0.012</b>	0.287	<b>0.000</b>
Maíz	<b>0.001</b>	0.086	<b>0.008</b>	0.061	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	0.144	<b>0.000</b>	0.095	<b>0.000</b>	0.605	<b>0.008</b>	<b>0.000</b>	<b>0.015</b>	0.271	<b>0.016</b>
Lúpulo	0.342	<b>0.008</b>	0.967	<b>0.001</b>	0.110	0.361	0.331	0.077	<b>0.035</b>	0.069	0.160	<b>0.013</b>	0.232	0.656	0.157	0.369
Vegetales cocidos	0.055	0.320	0.212	<b>0.025</b>	0.186	<b>0.000</b>	0.201	0.576	0.740	<b>0.033</b>	0.058	0.097	0.674	0.629	0.612	0.307
Rancio	0.486	0.098	0.102	0.486	0.754	<b>0.000</b>	0.485	<b>0.006</b>	0.659	0.436	0.440	0.195	0.056	0.549	0.568	0.495
Chile	<b>0.014</b>	<b>0.001</b>	0.709	<b>0.032</b>	0.797	0.495	0.205	0.794	0.631	0.215	0.381	<b>0.000</b>	0.348	0.140	0.228	<b>0.000</b>
Café	0.084	0.798	0.652	0.495		0.803	0.169	<b>0.017</b>	0.737	0.495	0.847	0.188	0.528	0.417	<b>0.017</b>	<b>0.019</b>
Quemado	0.472	0.422	0.145	0.400	0.186	0.520	0.102	0.156	<b>0.030</b>	0.959	0.176	0.090	0.176	0.465	0.637	0.054
Picante	0.591	0.127	0.383	<b>0.016</b>	0.794	0.663	0.163	<b>0.001</b>	0.600	0.495	<b>0.014</b>	<b>0.002</b>	0.281	<b>0.000</b>	0.113	<b>0.014</b>
Metálico	0.611	0.694	0.213	0.678	<b>0.016</b>	0.320	0.453	0.051	0.266	0.495	0.341	0.373	<b>0.016</b>	<b>0.015</b>	0.273	0.258
Astringente	0.752	0.355	0.191	<b>0.038</b>	0.056	0.674	0.337	0.112	0.734	0.421	0.485	0.853	0.163	<b>0.029</b>	0.650	0.771
Gasificación	0.365	<b>0.003</b>	<b>0.022</b>	<b>0.000</b>	0.052	<b>0.002</b>	0.174	<b>0.000</b>	0.433	0.244	0.908	<b>0.016</b>	<b>0.002</b>	<b>0.020</b>	0.239	0.251
Cuerpo	0.672	0.336	0.160	<b>0.000</b>	<b>0.048</b>	0.146	<b>0.031</b>	0.548	0.214	0.112	0.642	0.067	<b>0.007</b>	0.325	0.420	0.112

Con el fin de conocer la forma como evalúan los jueces, se analizaron las gráficas de consenso para determinar la tendencia de cada juez al evaluar cada una de las muestras y para evaluar el consenso que tenían. La evaluación permite identificar jueces atípicos mediante la medida para cada producto de la distancia Euclidiana para cada juez para un promedio de todo el panel para todos los atributos (Tabla A9.2).

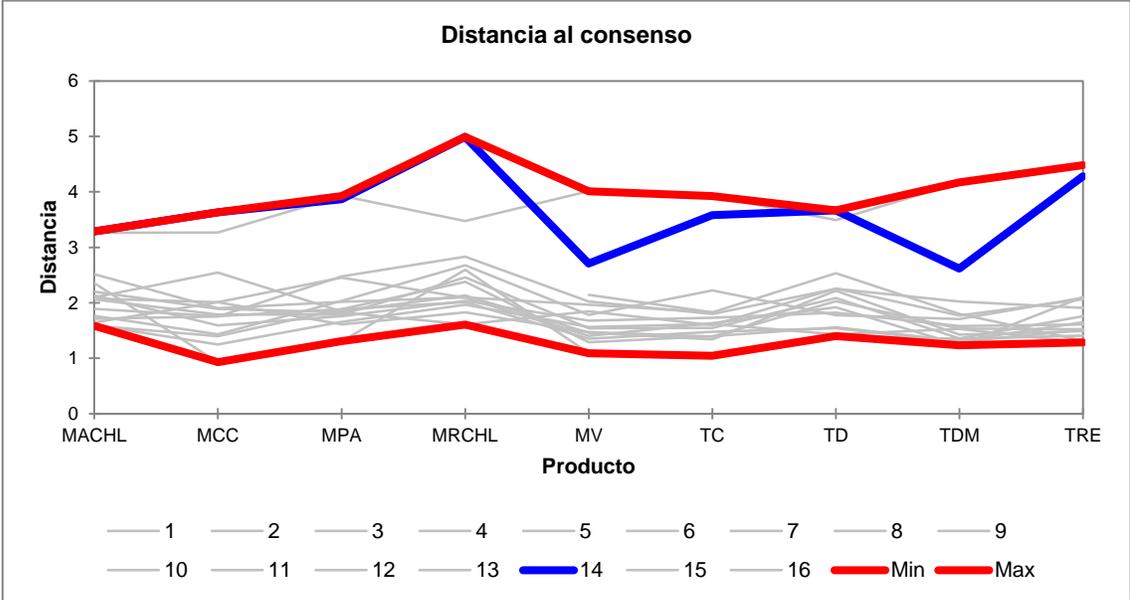
**TABLA A9.2. DISTANCIA AL CONSENSO CALCULADA SOBRE TODOS LOS DESCRIPTORES**

JUEZ	MACHL	MCC	MPA	MRCHL	MV	TC	TD	TDM	TRE
1	2.515	1.903	2.015	2.100	1.964	1.830	2.534	1.800	1.315
2	2.060	1.789	1.788	2.456	1.542	1.549	2.085	1.358	1.760
3			2.004		2.146	1.828		1.582	
4	2.358	<b>0.929</b>	<b>1.308</b>	2.596	<b>1.092</b>	<b>1.043</b>	<b>1.401</b>	1.349	1.406
5	3.261	3.266	<b>3.927</b>	3.472	<b>4.011</b>	<b>3.924</b>	3.493	<b>4.169</b>	<b>4.484</b>
6	1.597	1.248	1.658	1.963	1.566	1.614	1.430	1.531	<b>1.284</b>
7	1.891	1.760	1.888	2.378	1.291	1.397	1.555	1.313	1.647
8	1.647	2.010	2.456	2.089	1.405	1.634	1.920	<b>1.234</b>	2.102
9	2.073	2.011	1.611	1.830	1.470	1.389	2.027	1.537	1.525
10	<b>1.586</b>	1.400	1.884	2.010	1.351	1.475	1.538	1.291	1.513
11	1.715	1.754	2.475	2.834	2.020	1.801	2.250	2.022	1.910
12	2.130	1.592	1.760	2.036	1.676	1.732	1.820	1.583	1.609
13	1.763	1.433	2.034	2.679	1.783	2.226	1.778	1.707	2.090
14	<b>3.286</b>	<b>3.634</b>	3.870	<b>4.993</b>	2.707	3.579	<b>3.666</b>	2.617	4.280
15	2.202	1.891	1.827	<b>1.608</b>	1.845	1.597	2.259	1.768	2.062
16	2.096	2.543	1.847	2.132	1.462	1.339	2.219	1.425	1.491
Min	<b>1.586</b>	<b>0.929</b>	<b>1.308</b>	<b>1.608</b>	<b>1.092</b>	<b>1.043</b>	<b>1.401</b>	<b>1.234</b>	<b>1.284</b>
Max	<b>3.286</b>	<b>3.634</b>	<b>3.927</b>	<b>4.993</b>	<b>4.011</b>	<b>3.924</b>	<b>3.666</b>	<b>4.169</b>	<b>4.484</b>

En la tabla anterior (Tabla A9.2) se muestran las distancias de cada producto y el mínimo (azul) y máximo (rojo) calculado en todos los jueces, y nos permite identificar que tan lejos o cerca se encuentra cada juez del consenso. Cuanto menor sea la distancia, más cerca está el juez del consenso. El valor cero de distancia corresponde a la media de todos los jueces. Si para un producto todos los jueces le asignan la misma calificación para todos los atributos, el mínimo y máximo sería cero para ese producto. Si un juez diera exactamente el valor correspondiente a la media

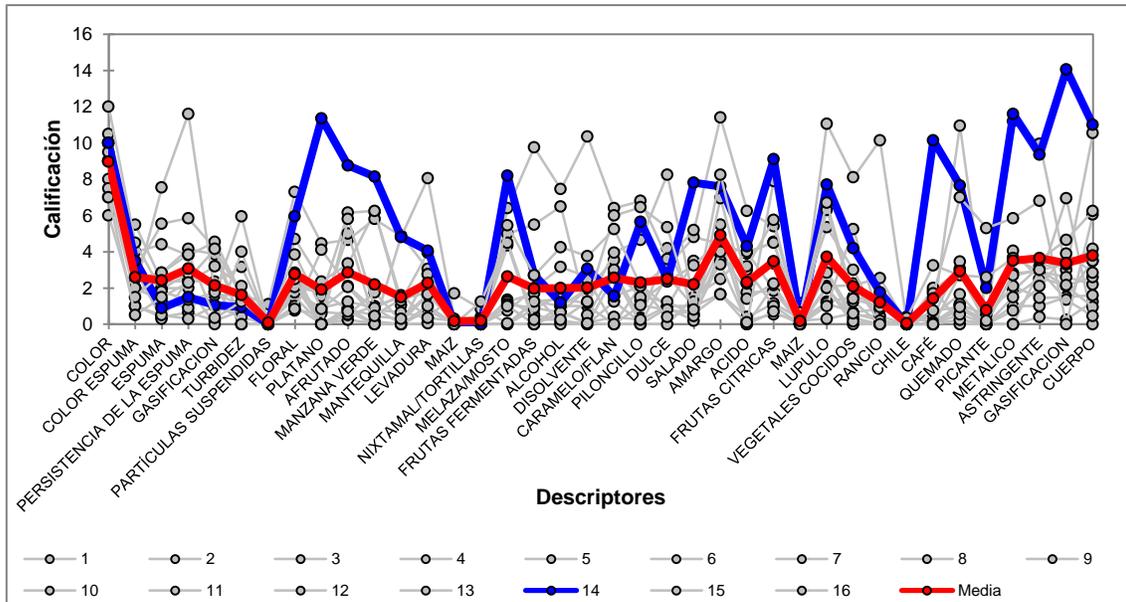
obtenida sobre los otros atributos, se tendía la mínima igual a cero para ese producto. A continuación se muestran dos ejemplos de jueces en consenso y fuera del consenso. Para cada uno de los jueces se realizó el mismo análisis.

GRÁFICA A9.3. DISTANCIA AL CONSENSO DEL JUEZ 14.



Por ejemplo se observa que el juez 14 no está de acuerdo con el resto de los jueces, excepto para los productos MV y TDM, donde sus índices se acercan más a la media. Por lo que podemos inferir que este juez está evaluando en un rango diferente de la escala. Esto se confirma observando el resultado de su evaluación para cada producto (Gráfica A9.4).

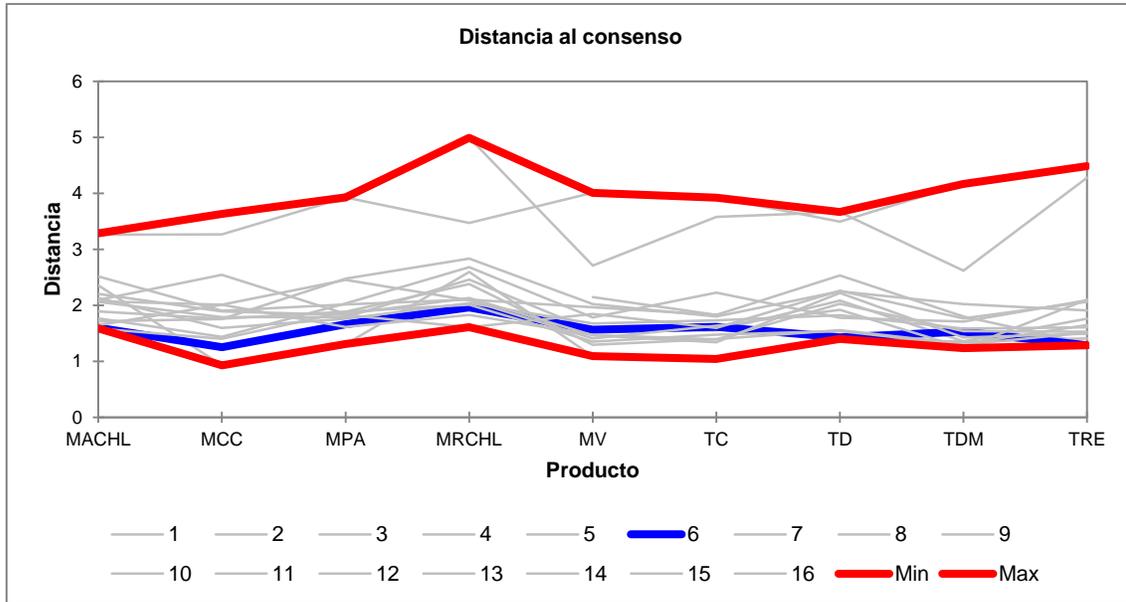
GRÁFICA A9.4. COMPARACIÓN DEL JUEZ 14 PARA EL PRODUCTO “TRE”



Como observamos en la gráfica anterior el juez 14 está evaluando por encima de la media la mayoría de los atributos, esta tendencia se observa en todas sus evaluaciones para cada uno de los productos, razón por la que aparece fuera de consenso. Sin embargo, esto no significa que el juez no sea capaz de discriminar entre muestras, simplemente está empleando la escala de manera diferente al resto del panel.

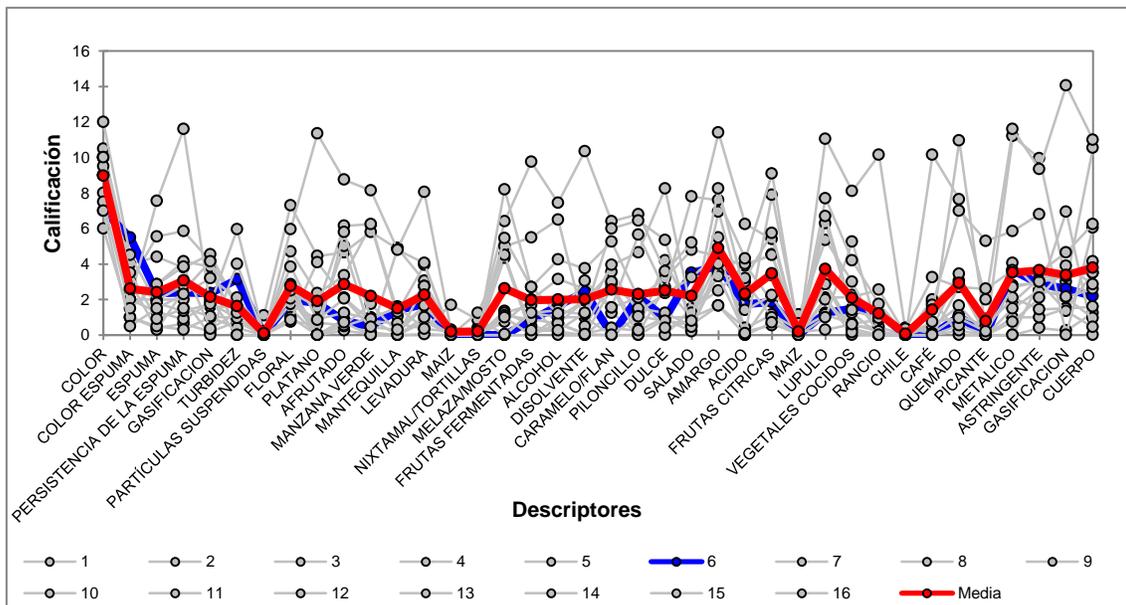
Como caso contrario observamos en la siguiente gráfica (Gráfica A9.5), que el juez 6 está más cerca del consenso, por lo tanto está de acuerdo con el resto de los jueces, la mayoría de sus índices están cerca del consenso.

GRÁFICA A9.5. DISTANCIA AL CONSENSO DEL JUEZ 6



Lo mismo se confirma con los resultados de sus evaluaciones para cada producto. En la siguiente gráfica (Gráfica A9.6) se encuentra que para el producto “TRE”, el juez 6 evalúa cada atributo cerca de la media.

GRÁFICA A9.6. COMPARACIÓN DEL JUEZ 6 PARA EL PRODUCTO “TRE”



ANEXO 10. Áreas de los compuestos volátiles obtenidos por SPME/GC/MS

**TABLA A10.1. ÁREAS DE LOS COMPUESTOS VOLÁTILES OBTENIDOS POR SPME/GC/MS**

ÁREAS DE LOS COMPUESTOS VOLÁTILES OBTENIDOS POR SPME/GC/MS							
PRODUCTO	MACHL	MRCHL	MV	TD	TDM	MSI	MOS R
Etanol	145956884.5	133448373	297488450	800452865	349207117	1347394814	21577257
Acetato de etilo	59751828	63618003	65990471	24266700	112518598.5	79208720.5	32268706
3-metil 1butanal	0	0	0	0	0	0	32973769
2-metil 1butanal	0	0	0	0	0	0	18235988
Isobutanol	100245986	166543294	0	0	0	0	0
Alcohol isoamílico	167067675	364190186	110304852	68419222.5	147019586.5	121018195.5	0
Alcohol amílico	0	0	80146140	48115870	0	82484668.5	0
Acetato de isoamilo	35242424	51012829	148814265.5	51531862.5	133449836.5	121807615.5	22578385
Estireno	64154546.5	20997857	0	0	0	0	0
Hexanoato de etilo	18241199.5	22496221	42969645.5	45692402.5	93395100	54279333	10863888
Alcohol feniletílico	0	81448904	22838320	21059718	16783953	84648523.5	0
Ácido octanoico	0	0	13230861	9883237	21560828	17271447	0
Octanoato de etilo	40308233.5	61127570	241817934	111249172	538406942.5	201477275.5	5042369
Decanoato de etilo	42599483.5	11615393	110133653.5	8702725	213169040	169564710.5	0
$\alpha$ -cariofileno	6905112.5	5523157	0	0	0	10917136	0
Dodecanoato de etilo	0	0	50488581.5	0	0	29658413.5	0

# ANEXO 11. Cromatogramas obtenidos por GC/MS

FIGURA A11.1. CROMATOGRAMA DE MACHL

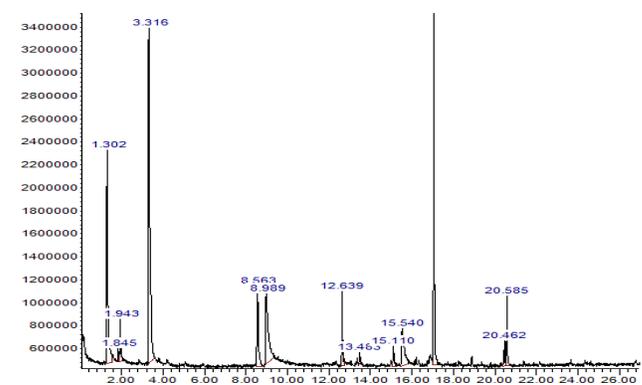


FIGURA A11.2. CROMATOGRAMA DE MRCHL

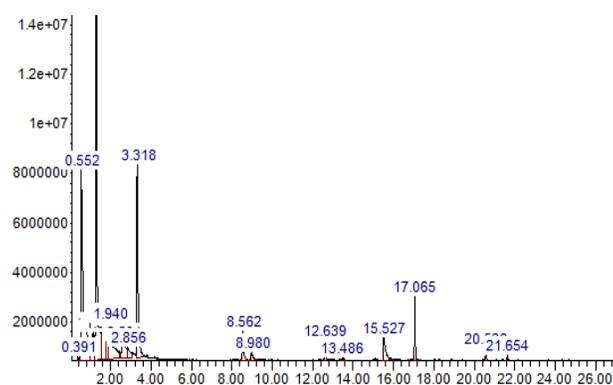


FIGURA A11.3. CROMATOGRAMA DE MOS R

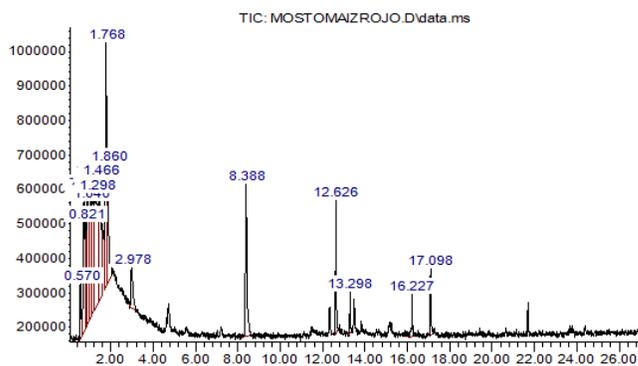


FIGURA A11.4. CROMATOGRAMA DE MOS R

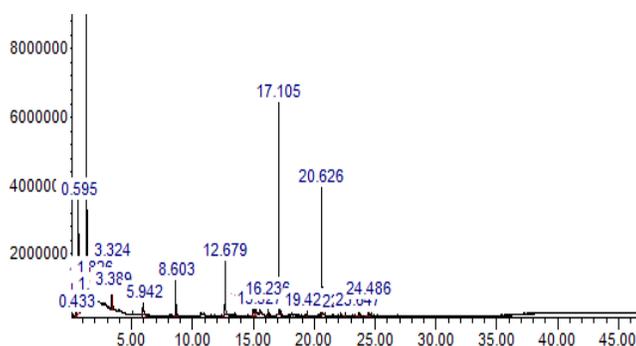


FIGURA A11.5. CROMATOGRAMA DE MV

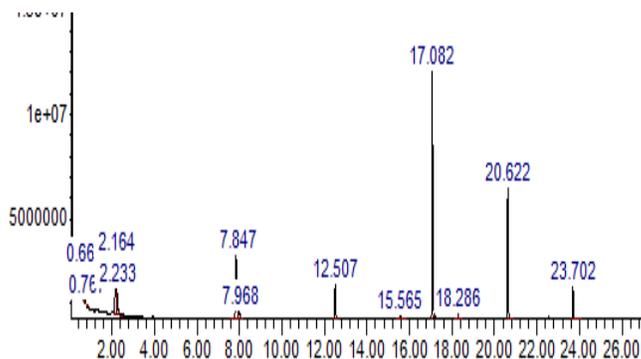


FIGURA A11.6. CROMATOGRAMA DE TDM

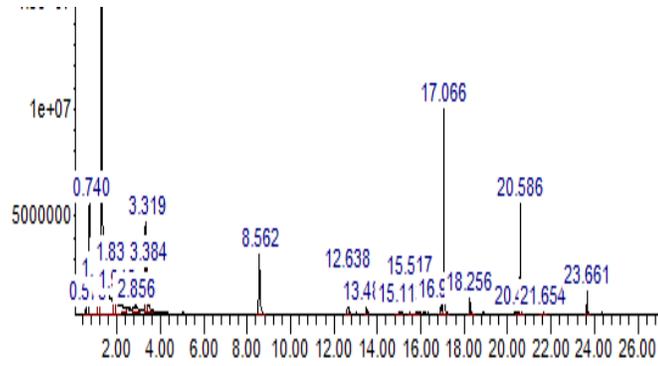
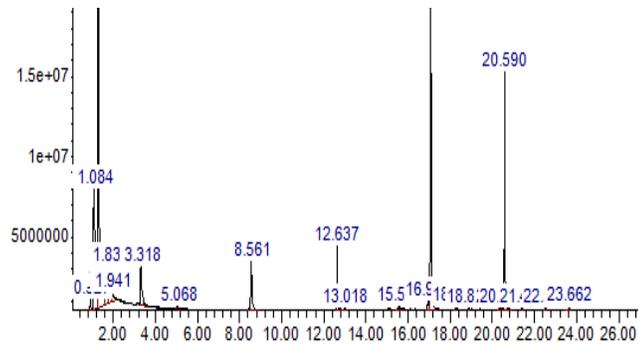


FIGURA A11.7. CROMATOGRAMA DE TD



ANEXO 12. Curvas de calibración de los compuestos volátiles obtenidos por HS/SPME GC-FID

**TABLA A12.1. CURVAS DE CALIBRACIÓN PARA LOS COMPUESTOS VOLÁTILES OBTENIDOS POR HS/SPME- GC-FID**

Ecuación de regresión de la curva de patrón y $R^2$ obtenida de los compuestos volátiles	
Compuesto	Ecuación de la Regresión
Etanol	Se calibró con el alcohol amílico
Acetato de etilo	$y=0.4681x + 6.8496$ $R^2 = 0.9958$
Alcohol isoamílico	Se calibró con el alcohol amílico
Alcohol amílico	$y= 1.0972x -17.594$ $R^2 = 0.9956$
Butirato de etilo	Se calibró con acetato de isoamilo
Acetato de isoamilo	$y= 4.8787x- 8.8304$ $R^2= 0.9963$
Hexanoato de etilo	$y= 8.3535x - 19.142$ $R^2= 0.9121$
2-fenil etanol	$y= 2.9104x - 99.22$ $R^2= 0.9677$
Octanoato de etilo	Se calibró con el hexanoato de etilo
Nonanoato de etilo	$y= 8.3535x - 19.142$ $R^2= 0.9121$
Decanoato de etilo	Se calibró con el nonanoato de etilo

## BIBLIOGRAFÍA

- ACERMEX. (23 de JULIO de 2012). *POR LA CERVEZA LIBRE*. Recuperado el 24 de MARZO de 2013, de <http://porlaciervezalibre.wordpress.com/2012/07/23/la-cerveza-artesanal-esta-en-auge/>
- Aguilera, O. M., Reza, V. M., Chew, M. R., & Meza, V. J. (2011). Propiedades Funcionales de las Antocianinas. *Revista Biotecnia*, XIII(2), 16-22.
- Alarcón, E., Guzmán, R. I., Aquino, E., & Chavez, S. . (2011). Actividad anticancerígena "in vitro" de extractos de maíz y tortilla azul. *3er Congreso Internacional Biología, Química y Agronomía*. México, Guadalajara.
- Amerine, M. A., & Ough, C. S. (1976). *Análisis de Vinos y Mostos*. Acribia.
- AMSDA. (2003). *La Asociación Mexicana de Secretarías de Desarrollo Agropecuaria A.C*. Recuperado el MAYO de 2013, de [www.amsda.com.mx/PREstatales/Estatales/PUEBLA/PREcebada.pdf](http://www.amsda.com.mx/PREstatales/Estatales/PUEBLA/PREcebada.pdf)
- Aron , P. M., & Shellhammer, T. H. (2010). A Discussion of Polyphenols in Beer Physical and Flavour Stability. *Journal of the Institute of Brewing*, 116(4), 369-380.
- Arranz, S., Chiva, B. G., Valderas, M. P., Medina, R. A., Lamuela, R. R., & Estruch, R. (2012). Wine, Beer, Alcohol and Polyphenols on Cardiovascular Disease and Cancer. *Nutrients*, 4, 759-781.
- Bamforth, C. W. (2002). Nutritional aspects of beer—a review. *22*, 227-237.
- BJCP. (2013, Mayo 19). *BJCP*. Recuperado el 2013, de Beer Judge Certification Program (BJCP): <http://www.bjcp.org/colorguide.php>
- Brewers Association, BA. (2010). *CRAFTBEER*. Recuperado el MAYO 2013, de <http://www.craftbeer.com/style-finder/overview>
- CANICERM. (2011). *Cámara Nacional de la Industria de la Cerveza y de la Malta*. Recuperado el MAYO de 2013, de <http://www.canicerm.org.mx/historia/hmex.html>
- Castañé, A. X. (2002). *2º Simposio de Química Sensorial, Aplicaciones industriales y control de calidad*, (pp. 2-5). Barcelona.
- Charry, P. G., DeJesús, E. M., & Perez, F. J. (2011). Beer Volatile Analysis: Optimization of HS/SPME Coupled to GC/MS/FID. *Journal of Food Science*, 76(2), C205-c211.
- Clark Amy, R., Hewson, L., Bealin-Kelly, F., & Hort , J. (2011). The Interactions of CO<sub>2</sub>, Ethanol, Hop Acids and Sweetener on Flavour Perception in a Model Beer. *Chemosensory Perception*, 4, 42-54.
- Cortacero, R. A., Segura, C. A., Blanco , C. C., Hemáinz , B. M., & Fernández, G. A. (2003). Análisis Multicomponente de los constituyentes en muestras de cerveza usando electroforesis capilar zonal con detección mediante un detector de diodos. *Cerveza y Malta*, 160, 41-44.

- Cortés, G. A., Salinas, M. Y., Martín, M. E., & Martínez, B. (2006). Stability of anthocyanins of blue maize (*Zea mays* L.) after nixtamalization of separated pericarp-germ tip cap and endosperm fractions. *Journal of Cereal Science*, 43, 57-62.
- Cruz Rodríguez, N. (2013). Desarrollo de un vocabulario de Evaluación Sensorial para Sendecho y Cerveza de maíz. *Tesis de maestría*. México D.F: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Cuadras, C. M. (2007). Nuevos Métodos de Análisis Multivariante. Barcelona.
- Del Pozo-Insfran, D., Serna, S. S., Brenes, C., & Talcott, S. (2007). Polyphenolics and Antioxidant Capacity of White and Blue Corns Processed into Tortillas and Chips. *Cereal Chemistry*, 84(2), 162-168.
- Dijksterhuis, G. (1996). Procrustes Analysis in Sensory Research. *Multivariate Analysis of Data in Sensory Science*, 185-219.
- Dijksterhuis, G. (1996). Procrustes Analysis in Sensory Science. *Multivariate Analysis of Data in Sensory Science*, 185-202. (T. N. Risvik, Ed.)
- Donadini, G., Fumi, M., & Faveri, M. (2011). Sensory Characteristics of Romanian, Polish, Albanian and Former Yugoslavian Beers. *The Institute of Brewing & Distilling*, 117(4), 507-515.
- Donadini, G., & Fumi, M. (2010). Sensory Mapping of Beers on Sale in the Italian Market. *Journal of Sensory Studies*, 19-49(25).
- Escalona Buendía, H. B. (1995). Evaluación Estadística de Metodologías para Pruebas Sensoriales a través de Estudios de Caso. *Tesis de maestría*. México D.F: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Fernández, A. E., & Landaluce, M. I. (2002). Análisis Factorial Múltiple como Técnica de Estudio de la Estabilidad de los Resultados de un Análisis de Componentes Principales. *QÜESTIIO*, 26(1-2), 109-122.
- Fix, G. (1999). *Principles of Brewing Science; A Study of serious Brewing Issues* (2a. Edición ed.).
- Gerhäuser, C. (2005). Beer constituents as potential cancer chemopreventive agents. *European Journal of Cancer*, 41, 1941-1954.
- Gigliarelli, P. (2011, 09 26). *Revista Mash*. Recuperado 05 2013, de [www.revistamash.com](http://www.revistamash.com)
- Goldamner, T. (2008). *The Brewer's Handbook, the complete book to brewing beer* (Vol. 2a. Edición).
- Gruber, M. A. (2001). The flavor contributions of kilned and roasted products to finished beer styles. *Technical Quarterly*, 38, 227-233.
- Gutiérrez, P. H., & De la Vara, S. R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (Vol. 2da Edición). México: McGraw-Hill.
- Halliwell, B. (2007). Biochemistry of oxidative stress. *Biochemical Society Transactions*, 35(5), 1147-1149.

- Hardwick, W. (1995). *Handbook of Brewing*. Texas: Marcel Dekker. Inc.
- Hardwick, W. A. (1994). *Handbook of Brewing*. Texas: Marcel Dekker, Inc.
- Hernández, C. M., López, V.J., & Gómez, A. T. (2010). Comparación de la descripción sensorial del queso fresco “cuajada” mediante el análisis descriptivo-cuantitativo y el perfil flash. *Ciencia y Mar*, XIV(42), 3-12.
- Herrmann, A. (Ed.). (2010). *The Chemistry and Biology of Volatiles*. Wiley.
- Hopunion LLC;. (2011). *Hop Variety Handbook*. Yakima, Washington, USA: Hopunion LLC.
- Hough, J. S. (1990). *Biología de la cerveza y malta*. España: Acribia S.A.
- Hughes, P. (2008). Beer: A quality perspective. In *Handbook of alcoholic Beverage series*. Davis, USA: University of California.
- Hughes, P., & Baxter, E. (2001). Beer Quality, Safety and Nutritional aspects. *UK: The Royal Society of Chemistry*, 40-60.
- ISO-11035. (n.d.). Sensory analysis - Identification and Selection of Descriptors for Establishing a Sensory Profile by a Multidimensional Approach. *Standardization International Organization*.
- Johnson, D. (2000). *Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos*. Thomson Editores.
- Jong, S., Heidema, J., & Van der Knaap, H. (1998). Generalized Procrustes Analysis of Coffee Brands Tested by Five European Sensory Panels. *Food Quality and Preference*, 9(3), 111-114.
- Keukeleire, D. (2000). Fundamentals of Beer and Hop Chemistry. *Química Nova*, 23, 108-112.
- Kitson, F. G., Larsen, B. S., & McEwen, C. N. (1996). *Gas Chromatography and Mass Spectrometry, A Practical Guide*. Academic Press.
- Kobayashi, M., Shimizu, H., & Shioya, S. (2008). Beer Volatile Compounds and Their Application to Low-Malt Beer Fermentation. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 106(4), 317-323.
- Leitao, C., Marchioni, E., Bergaentzlé, M., Zhao, M., Didierjean, L., Taidi, B., & Ennahar, S. (2011). Effects of Processing Steps on the Phenolic Content and Antioxidant Activity of Beer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 1249-1255.
- Lewis, M., & Young, T. W. (1995). *Brewing*. Chapman & Hall.
- Liu, C., Dong, J., Wang, J., & Yin, X. (2012). A Comprehensive Sensory Evaluation of Beers from the Chinese Market. *Journal of the Institute of Brewing*, 118, 325-333.
- López, R., Cacho, J., & Ferreira, V. (2011). El análisis del aroma de la cerveza. *Cerveza y Malta*, 190, 44-49.
- Meilgaard, M. C., Civille, G., & Carr, B. (2007). *Sensory Evaluation Techniques* (Vol. 4a Edición). Boca Raton, FL: CRC Press.

- Molyneux, P. (2004). The use of stable free radical diphenylpicrylhydrazil (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Journal of Science and Technology*, 26, 211-210.
- Murray, J. M., Delahunty, C. M., & Thomas, C. B. (2001). Descriptive Sensory Analysis: past, present and future. *Food Research International*, 34, 461-471.
- Naes, T., Brockhoff, P. B., & Tomic, O. (2010). *Statics for sensory and consumer science*. United Kingdom: WILEY.
- Ramos, E. F., Muñóz, A. M., Alvarado, O. C., & Yáñez, J. (2010). Anocianinas, Polifeniles, Actividad anti-oxidante de Sachapapa morada (*Dioscorea trifida* L.) y Evaluación de Lipoperoxidación en Suero Humano. *Revista Sociedad Química de Perú*, 76(1), 61-72.
- Reineccius, G. (2006). *Flavor Chemistry and Technology* (Vol. 2da Edición). Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group.
- Ribeiro, T.P.A., Barbosa, Q.R., Delerue, M.C., & Ferreira, S. M. (2010). Control and comparison of the antioxidant capacity of beers. *Food Research International*, 43, 1702-1709.
- Salinas, M. Y., Cruz, C. F., Díaz, O., & Castillo, G. F. (2012). GRANOS DE MAÍCES PIGMENTADOS DE CHIAPAS, CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, CONTENIDO DE ANTOCIANINAS Y VALOR NUTRACÉUTICO. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(1), 33-41.
- Salinas, M. Y., Pérez, A. J., Vázquez, C. G., Aragón, C. F., & Velázquez, C. G. (2012). ANTOCIANINAS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN MAÍCES (*Zea mays* L.) DE LAS RAZAS CHALQUEÑO, ELOTES CÓNICOS Y BOLITA. *Agrociencia*, 46, 693-706.
- Santillán, V. M., & García, G. (1998). Biosíntesis de congenéricos durante las fermentaciones alcohólicas. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 40, 109-119.
- Santos, F. J., & Galceran, M. T. (2003). Modern developments in gas chromatography-mass spectrometry based environmental analysis. *Journal of chromatography A*, 1000, 125-151.
- Schulbach, K. F., Rouseff, R. L., & Sims, C. A. (2004). Relating Descriptive Sensory Analysis to Gas Chromatography/Olfactometry Ratings of Fresh Strawberries Using Partial Least Squares Regression. *Sensory and Nutritive Qualities of Food*, 69(7), S273-S277.
- SE, S. E. (2011). *Sociedad Española de Dietética y Ciencias de la Alimentación*. Recuperado el MAYO de 2013, de Series Agroalimentarias, cuadernos de calidad: [http://www.nutricion.org/publicaciones/pdf/haccp\\_cerveza.pdf](http://www.nutricion.org/publicaciones/pdf/haccp_cerveza.pdf)
- Shen, Y., Schijver, S., Moonjai, N., Verstrepen, J., Delvauz, F., & Delvaux, R. (2004). Effects of CO<sub>2</sub> on the formation of flavour volatiles during fermentation with immobilised brewer's yeast. *Appl Microbiology and Biotechnology*, 64, 636-643.
- Sidel, J., & Stone, H. (1985). *Sensory Evaluation Practices*. New York, USA: Academic Press.
- Silva, A., & Faira, d. (2008). Avaliação da intensidade de amargor e do seu princípio ativo em cervejas de diferentes características e marcas comerciais. *Ciencia y Tecnología alimentaria*, 28(4), 902-906.

- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetric of Total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158.
- Tinseth, G. (1994, January/February). *Brewing Techniques*. Recuperado MAYO 2013, de <http://morebeer.com/brewingtechniques/library/backissues/issue2.1/tinseth.html>
- Valdez, L. M., Bettcher, K. J., & Valdez, J. E. (2010). Production of maize beer at a wari site in the Ayacucho Valley, Peru. *Arqueología Iberoamericana*, 5, 23-35.
- Vanderhaegen, B., Neven, H., Coghe, S., Verstrepen, K., Derdelinckx, G., & Verachtert, H. (2003). Bioflavoring and beer refermentation. *Appl Microbiology and Biotechnology*, 62, 140-150.
- Vanderhaegen, B., Neven, H., Verachtert, H., & Derdelinckx, G. (2006). The Chemistry of beer aging- a critical review. *Food Chemistry*, 95, 357-381.
- Verstrepen, K. J., Derdelinckx, G., Dufour, J.-P., Winderickx, J., Thevelein, J., Pretorius, I. S., & Delvaux, F. R. (2003). Flavor-Active Esters: Adding Fruitiness to Beer. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 96(2), 110-118.
- Wrolstad, R. E. (1992). *Color and Pigment Analyses in Fruit Products*. Oregon: Agricultural Experiment Station.
- Yonezawa, T., & Fushiki, T. (2001). Testing for taste and Flavour of Beer. In *Analysis of Taste and Aroma* (21va Edición ed.). Springer.

## PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS



**5th International Congress**  
Food Science and Food Biotechnology  
in Developing Countries



**Inocuidad Alimentaria 2012**  
Congreso Internacional

**DIPLOMA**

Romero-Medina, María-Angélica; Cruz-Rodríguez, Nicté Nataly; Escalona-Buendía, Héctor Bernardo; Verde-Calvo, José Ramón

Has been awarded an Honorific Mention at the poster session  
for their contribution

Sensory Evaluation of Handcrafted Corn Malt Beverages: Sendeché and Corn Beer  
at the 5th. Food Science and Food Biotechnology  
in Developing Countries, and Food Safety 2012 meeting,

Held at Marival Resort, Nuevo Vallarta, on October 24-26, 2012.

  
Dra. Guadalupe Virginia Nevárez Moorillón  
Presidenta

  
Dr. J. Santos García A.  
Vicepresidente



ASOCIACION  
MEXICANA DE  
CIENCIAS DE LOS  
ALIMENTOS A.C.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
Casa abierta al tiempo  
Unidad Iztapalapa

La División de Ciencias Biológicas y de la Salud y la Comisión Académica del  
Posgrado en Biotecnología otorgan la presente  
Constancia de Participación en el **2º Simposio: Perspectivas en Biotecnología a**  
**Angélica Romero-Medina; Nicté Cruz-Rodríguez, Héctor**  
**Escalona-Buendía y José Ramón Verde-Calvo**  
por el cartel

**EVALUATION OF HANDCRAFTED CORN MALT BEER: AN INNOVATIVE BEER SOURCE OF  
ANTHOCYANINS AND NEW FLAVORS**

México D.F., a 05 de abril de 2013

  
Dr. Francisco José Fernández Perrino  
Coordinador del Posgrado en Biotecnología





National Congress of  
**Biotechnology and  
Bioengineering**



## CERTIFICATE OF PRESENTATION

We hereby certify that

Angélica Romero-Medina, Nicté Cruz-Rodríguez, Héctor Escalona-Buendía, José Verde-Calvo

**Delivered the Oral presentation**

EVALUATION OF HANDCRAFTED CORN MALT BEER: AN INNOVATIVE BEER SOURCE OF ANTHOCYANINS AND NEW FLAVORS

XV National Congress of Biotechnology and Bioengineering and  
12th International Symposium on the Genetics of Industrial Microorganisms.  
June 23rd - 28th, 2013 in Cancún, Quintana Roo, México.

Dr. Gerardo Saucedo Castañeda  
President of SM88

Dr. Cristóbal Noé Aguilar González  
President of the Organizing Committee  
SM88

Dra. Romina Rodríguez Sanoja  
President of the Scientific  
Committee SM88/GIM

Dr. Sergio Sánchez Esquivel  
President of the Organizing  
Committee GIM

Dr. Stefano Donadio  
President of GIM



## Certificate of Attendance & Presentation

We hereby confirm that

**Maria Angelica Romero-Medina**  
Universidad Autonoma Metropolitana, Mexico

**Attended & Presented**

Sensory evaluation of handcrafted corn malt beverages: sendechó and corn beer

**At the 10<sup>th</sup> Pangborn Sensory Science Symposium**

**11-15 August 2013, Rio de Janeiro, Brazil**

**Robyn Camilleri**

**For and on behalf of Elsevier Ltd**



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

# ACTA DE EXAMEN DE GRADO

No. 00170

Matrícula: 2113801122

CARACTERIZACION DE CERVEZAS DE MALTA DE MAIZ Y DE CEBADA BASADAS EN SU PERFIL SENSORIAL, COMPUESTOS VOLATILES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

En México, D.F., se presentaron a las 9:00 horas del día 13 del mes de septiembre del año 2013 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DR. JOSE RAMON VERDE CALVO  
DRA. PATRICIA SEVERIANO PEREZ  
M. EN F.P. FRIDA PURA MALPICA SANCHEZ  
DR. ALBERTO CASTILLO MORALES

Bajo la Presidencia del primero y con carácter de Secretario el último, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

MAESTRA EN BIOTECNOLOGIA

DE: MARIA ANGELICA ROMERO MEDINA

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

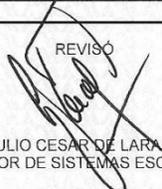
Aprobar

Acto continuo, el presidente del jurado comunicó a la interesada el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.




MARIA ANGELICA ROMERO MEDINA  
ALUMNA

REVISO



LIC. JULIO CESAR DE LARA ISASSI  
DIRECTOR DE SISTEMAS ESCOLARES

DIRECTOR DE LA DIVISION DE CBS



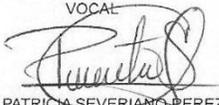
DR. RUBEN ROMAN RAMOS

PRESIDENTE



DR. JOSE RAMON VERDE CALVO

VOCAL



DRA. PATRICIA SEVERIANO PEREZ

VOCAL



M. EN F.P. FRIDA PURA MALPICA SANCHEZ

SECRETARIO



DR. ALBERTO CASTILLO MORALES