

DOI: <https://doi.org/>

Perfil fisicoquímico de cervezas artesanales del estado de Zacatecas por técnicas cromatográficas y de espectroscopia

Physical-chemical profile of craft beers from the state of Zacatecas through chromatographic and spectroscopic techniques

Héctor Emmanuel Valtierra Marín

hectorv@uaz.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-9635-3577>
Universidad Autónoma de Zacatecas
Zacatecas – México

Lucía Delgadillo Ruíz

delgadillolucia@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6640-2753>
Universidad Autónoma de Zacatecas
Zacatecas – México

Marisa Mercado Reyes

marisamercado@uaz.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-2063-599X>
Universidad Autónoma de Zacatecas
Zacatecas – México

Laura Elvira Valencia Adame

q.a.lauvalencia@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-6530-911X>
Universidad Autónoma de Zacatecas
Zacatecas – México

Norma Angélica Gaytán Saldaña

gaytanangelica1@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2444-5026>
Universidad Autónoma de Zacatecas
Zacatecas – México

Artículo recibido: 15 de noviembre de 2023. Aceptado para publicación: 28 de noviembre de 2023.
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

La cerveza es una bebida natural obtenida por fermentación alcohólica de un extracto acuoso de cebada malteada. Las materias son sólo cuatro; malta de cebada, agua, levadura y lúpulo. En México, la cerveza es la que domina el mercado de bebidas alcohólicas, a partir del 2011 se observa un crecimiento sostenido de la cerveza artesanal en este país. Para la presente investigación, se recolectaron 23 muestras de cerveza artesanal y 7 industrializadas en su mayoría del estado de Zacatecas, se clasificaron según su color, se les determinó el porcentaje de alcohol en volumen, metanol mediante cromatografía de gases, grados Brix, % acidez, pH, extracto seco, cenizas, se aplicó la técnica de UV-Vis y se analizaron los espectros con el método de análisis multivariante no supervisado conocido como PCA (Principal Component Analysis) por sus siglas en inglés. Las bebidas alcohólicas, se catalogaron por color (clara, semi oscura y oscura) basándose en la malta que se usa para su elaboración, los resultados del porcentaje de alcohol de las cervezas están dentro de lo establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-199-SCFI-2017, en cuanto a los valores de metanol


obtenidos por el método de cromatografía, se encuentran muy por debajo de los límites establecidos. Las muestras se analizaron con espectroscopía UV-Vis, obteniendo señales analíticas propias, observándose una buena discriminación entre los tipos de cervezas. Utilizando el análisis de PCA para la técnica de UV-Vis, se pudo reducir las variables y ubicar las muestras en una zona característica de acuerdo con el tipo de cerveza, obteniendo agrupaciones características de los diferentes tipos.

Palabras clave: UV-Vis, metanol, cerveza, calidad

Abstract

Beer is a natural beverage which is obtained through alcoholic fermentation of an liquid extract of malted barley. It is made of four main components or ingredients: barley malt, water, yeast and hops. In Mexico, beer dominates the market of alcoholic beverages, as of 2011 there is a steady growth of craft beer in this country. For the present investigation, 23 samples of craft beer and 7 of industrialized beer were collected and classified by color. Most samples were taken from the state of Zacatecas. The percentage of alcohol by volume, methanol was determined by gas chromatography, temperature. Brix degrees, pH, % acidity, dry extract, ashes. UV-Vis technique was applied, and the spectra were analyzed trough method of multivariate unsupervised analysis known as PCA (Principal Component Analysis). Alcoholic beverages, were sorted out by color (light, semi-dark and dark) based on the malt used for its production. According to the results of the percentage of alcohol in beer, it was observed that they comply with The Official Mexican STANDARD NOM-199-SCFI-2017 regarding the methanol values obtained by the chromatography method, are well below the established limits. The samples were analyzed with UV-Vis spectroscopy, obtaining their own analytical signals and a fair discrimination between the types of beer was observed. Using the PCA analysis for the UV-Vis technique, the variables could be reduced, the samples could be located in a characteristic area according to the type of beer which led to obtaining different types of groups within the studied types of beer.

Keywords: UV-Vis, methanol, beer, quality

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons . 

Como citar: Valtierra Marín, H. E., Delgadillo Ruíz, L., Mercado Reyes, M., Valencia Adame, L. E., & Gaytán Saldaña, N. A. (2023). Perfil fisicoquímico de cervezas artesanales del estado de Zacatecas por técnicas cromatográficas y de espectroscopia. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 4(5), 1479 – 1490. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i5.1408>

INTRODUCCIÓN

La elaboración casera de la cerveza era común hace 400 años y al imponerse la industria, parte de esta práctica se fue perdiendo, de manera que, su industrialización se ha desarrollado de manera creciente, sin embargo, en estos últimos años ha vuelto tendencia la elaboración y consumo de la cerveza artesanal (Vogel, 2003). Dentro de este mercado, el comportamiento de los bebedores de este producto está evolucionando, comenzando a comprar cantidades más bajas de esta bebida alcohólica elaborada de manera industrial y cantidades más altas fabricadas de forma artesanal, buscando más conocimiento, nuevas experiencias de sabor y alejarse del consumo de cerveza comercial (Gómez-Corona et al., 2015). La variedad de sabores, como la cebada malteada, la castaña y las elaboradas con sabor a miel, aumentan la probabilidad de percibir que la cerveza artesanal tiene una calidad superior a la cerveza comercial (Aquilani et al., 2015).

La cerveza es una bebida alcohólica que se obtiene de la fermentación del extracto acuoso de cebada malteada con lúpulo (*Humulus lupulus*) (Dong et al., 2013). Aunque los detalles del proceso de elaboración de la cerveza son bastante variables, dependiendo del tipo específico de cerveza, siempre consta de las siguientes cuatro etapas: malteado, producción de mosto, fermentación y estabilización junto con filtración. Para transformar el mosto en cerveza, se inoculan células de levadura activas (Brányik, et al., 2005), para dar paso al proceso de fermentación, durante el cual, como subproductos del metabolismo de la levadura, los azúcares en el mosto se convierten en etanol, dióxido de carbono y compuestos volátiles, como los alcoholes y ésteres superiores (Lentini et al., 2003). Se han caracterizado más de 400 componentes diferentes. Algunos de sus constituyentes son derivados de la materia prima y permanecen sin cambiar durante el proceso de fabricación, otros son el resultado de transformaciones químicas y bioquímicas durante la elaboración (López y Porras, 2012).

La cerveza artesanal tiene su origen a finales de la década de los 70 en el Reino Unido y su producción se basa en la Ley de la Pureza Alemana, que dicta que debe de estar compuesta de malta de cebada, agua, levadura y lúpulo y su producción deberá ser menos a 7 millones de barriles al año, conducirse con independencia y tener capital familiar (Calvillo, 2017). No hay artículos publicados sobre cervezas artesanales referente a la producción de compuestos volátiles o perfil de compuestos, empleando la técnica de cromatografía de gases para medir esas concentraciones (GC) (Lentini et al., 2003). No obstante, considerando las vías metabólicas de la levadura, el proceso de producción de la bebida alcohólica, así como la materia prima (mosto, lúpulo, levadura) es el mismo, los métodos de medición, estimación y los procedimientos de control en la producción de cerveza industrial son aplicables para la producción de cerveza artesanal. La espectrometría UV-Vis es una técnica barata, simple y rápida para el análisis de alcohol, pudiéndose implementar en la producción de alcohol o en las casas de embotellado como instrumentos en línea, en línea o en línea y cada muestra de cerveza tendrá un espectro único (Bhattacharjee, 2017). El análisis de componentes principales (PCA) ayuda a clasificar y analizar los datos obtenidos de la evaluación espectral en un espacio multidimensional. Se crea un PCA que delimita una región de espacio multidimensional para un grupo o clase de muestras dado (Beebe et al., 1998).

En bebidas alcohólicas no está especificado si la presencia de metanol (como producto contaminante de la fermentación), se produce solo por una reacción química o en combinación con una hidrólisis microbiana (Cedeño, 1995). Durante la elaboración de cerveza artesanal la reacción química de desmetilación de la pectina durante la producción del mosto por las altas temperaturas y el bajo pH pueden producir metanol. La reacción microbiana podría ser la hidrólisis de la pectina de por la enzima pectin metil esterasa (PME). La PME (EC 3.1.1.11) es una enzima hidrolítica, que cataliza la eliminación de los grupos metilo de la cadena de ácido poligalacturónico, lo que provoca la liberación de metanol (Menéndez-Aguirre et al., 2006). Sin embargo, no se han hecho estudios acerca del tipo de pectinas que presentan las paredes celulares de la cebada, si son de alto o bajo contenido metoxilo y sus

respectivas enzimas hidrolíticas. Si la presencia de metanol es de origen microbiano, se infiere la contaminación por bacterias indeseables durante la elaboración de cerveza artesanal.

Hasta antes de la industrialización de la cerveza, en México, en las primeras décadas del siglo pasado el pulque era la bebida fermentada más popular y forjó capitales hacendarios importantes en la economía nacional; sin embargo, ha sido desplazada en el mercado de consumo occidentalizado por la cerveza (Recio, 2004). El consumo per cápita de bebidas alcohólicas en el país ha variado, incrementándose en los últimos años, la ingesta de estos productos está representada principalmente por la cerveza (alrededor del 70%), seguida de los destilados (casi el 30%) y, en forma menor, por los vinos (1%) (Rosovsky et al., 2013). En 2018, la producción de cerveza alcanzó los 119.8 millones de hectolitros, 8.8% más que en 2017 y el consumo interno de cerveza industrial fue de 83 millones de hectolitros. La producción de cerveza artesanal en 2017 alcanzó los 108 mil 723 hectolitros, 65% de crecimiento vs 2016 con alrededor de 650 productores, su producción crece en promedio un 30% cada año desde hace una década (INEGI, 2018). A pesar del hecho de que el proceso de elaboración y la materia prima son comunes a todas estas bebidas alcohólicas, algunas de estas producidas artesanalmente exhiben aromas y sabores particulares, Zacatecas se ha colocado dentro del panorama cervecero a nivel nacional e internacional, este crecimiento se ve reflejado en el desarrollo de una red de proveedores, productores, distribuidores y consumidores que hacen posible el resurgimiento de la industria cervecera mexicana. Sin embargo, no existe una (regulación en la elaboración) NOM específica para este tipo de producto. Por lo que para realizar una estandarización de los procesos artesanales es necesario establecer las metodologías necesarias, por lo cual el objetivo planteado fue realizar un perfil por la técnica de espectroscopia de UV-Vis entre las cervezas artesanales y producidas industrialmente del estado de Zacatecas.

METODOLOGÍA

Recolección de muestras

Las cervezas recolectadas fueron 30 muestras de las cuales en total 23 se elaboraron artesanalmente y el resto en proceso industrial. Se clasificaron en claras (16 muestras), semi oscuras (8 muestras) y por último oscuras (6 muestras), en cuanto al origen 18 de las cervezas son del estado de Zacatecas, siete de Puebla, seis de Ciudad de México, dos de Nuevo León y por último una de Tijuana.

Criterios de inclusión

Cervezas que son catalogadas como artesanales y producidas en el estado de Zacatecas artesanales con un proceso de producción artesanal, así como aquellas artesanales mexicanas comercializadas en los principales bares y centro comerciales de Zacatecas. Las cervezas artesanales que fueron seleccionadas de otros estados debían cumplir con los siguientes parámetros: ser un producto elaborado de forma manual, contar con etiqueta donde se muestre la información del producto. Para las cervezas industriales se seleccionaron las más consumidas por el público y las más comercializadas en Zacatecas, además de que debe ser un producto nacional.

Determinación del porcentaje de alcohol en volumen

El porcentaje de alcohol en volumen se determinó según lo establecido en la norma NMX-V-013-S-1980 para bebidas alcohólicas destiladas y menciona que el contenido alcohólico real total debe realizarse en escala Gay-Lussac a 15°C.

Acidez total

La acidez total se basó en la norma NMX-V-016-1980, para lo cual se emplearon 25 mL de muestra, se adicionaron 250 mL de agua destilada libre de CO₂ y neutralizada previamente. Realizando una titulación ácido-base con el NaOH 0.1 N con indicador fenolftaleína y se usó azul de bromotimol para

las muestras más oscuras, se realizó por triplicado. La acidez de la cerveza es debida en parte a diversos ácidos orgánicos (especialmente láctico) y se suele expresar en ácido láctico cada 100 gramos de cerveza según el reglamento bromatológico nacional.

Sólidos solubles (°Brix)

La determinación de sólidos solubles se realizó según el procedimiento establecido en la NMX-F-103-NORMEX-2009 Alimentos-Determinación de Grados Brix en Alimentos y Bebidas. Método de Ensayo (Prueba) con un Refractómetro Abbé y haciendo circular agua a 20 ° C a través de los prismas.

Extracto seco

El extracto seco corresponde a todas las sustancias no volátiles presentes. La norma NMX-V-017-S-1981 establece que el extracto seco se debe de hacer a una temperatura de (20°C) con 25 mL de muestra, empleando una cápsula de porcelana a masa constante, se evaporó a sequedad por medio de baño María y se transfiriendo a la estufa (100°C) durante 3 horas y se determinó su masa en la balanza analítica.

Cenizas

Las cenizas de un alimento son un término analítico equivalente al residuo inorgánico que queda después de calcinar la materia orgánica. La cápsula que contenía el residuo del extracto seco se colocó en la mufla (500 y 600°C) y dejando hasta obtener cenizas blancas, y pesando para obtener su masa.

Cromatografía de gases

La composición química se determinó mediante un cromatógrafo de gases (CG; Agilent Technologies fabricado en U.S.A.) con una columna polar DB_WAXetr, a 250°C y 12.13 psi con un flujo de He 36.5 mL min⁻¹ después de la inyección. Las condiciones para la columna fueron: temperatura inicial 50°C de cero a dos min, aumentando de 10 en 10 °C hasta llegar a 150°C, manteniendo la temperatura constante por 5 minutos para luego descender a 50°C por dos minutos con un flujo de He de 1.6 mL min⁻¹ a una presión de 12.13 psi y una velocidad promedio de 25 cm s⁻¹, utilizando un detector de flama ionizante (FID) a una temperatura de 210°C con un flujo de H₂ de 40 mL min⁻¹ y un flujo de aire de 450 mL min⁻¹. Los estándares (Sigma-Aldrich) se utilizaron en concentraciones diferentes.

Espectroscopía de Ultravioleta y Visible

La autenticidad de los Mezcales puede ser evaluada en función de sus diferencias espectrales en el rango UV-Vis, como se ha establecido para otras bebidas destiladas, como el Whisky (MacKenzie y Aylott, 2004). Las mediciones de absorción UV-Vis se realizaron utilizando un espectrofotómetro modelo USB4000-UV-VIS de la compañía Ocean Optics utilizando como fuente de excitación una lámpara de Deuterio-Halogeno modelo DH2000-BAL de la misma compañía. Los espectros de absorción fueron colectados en el rango espectral de los 200 a los 850 nm, utilizando el software Spectra Suit. Los espectros fueron grabados utilizando un tiempo de integración de 200 ms y 15 exploraciones promedio.

Análisis de componentes principales (APC)

Para el análisis de los espectros UV-VIS se utilizó el método de análisis multivariante no supervisado conocido como PCA (Principal Component Analysis) por sus siglas en inglés. Este método fue desarrollado por Karl Pearson en 1901. Su objetivo es tomar p variables correlacionadas, las cuales describen n objetos y encontrar una combinación lineal de estas para generar otras variables nuevas que no estén correlacionadas, las cuales son llamadas Componentes Principales (CPs).

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Se identificó a las cervezas el origen, el tipo y el color, en la tabla 1 se muestra la numeración correspondiente, así como su clasificación tomando en cuenta su color.

Tabla 1

Muestras de cervezas numeradas y clasificadas

Muestra	Cerveza	Origen	Tipo	Color
1	Reina	Ciudad de México	Artesanal	Clara
2	Tempus Dorada	Ciudad de México	Artesanal	Semi oscura
3	Cucapà	Tijuana BC	Artesanal	Semi oscura
4	Alimaña	Puebla	Artesanal	Semi oscura
5	Alimaña	Puebla	Artesanal	Oscura
6	Alimaña	Puebla	Artesanal	Clara
7	Del Duende	Zacatecas	Artesanal	Oscura
8	Del Duende	Zacatecas	Artesanal	Semi oscura
9	Ezkiller	Fresnillo	Artesanal	Clara
10	La Jefa	Fresnillo	Artesanal	Clara
11	La Jefa	Fresnillo	Artesanal	Semi oscura
12	Paz	Zacatecas	Artesanal	Clara
13	1546	Zacatecas	Artesanal	Clara
14	Brigada mutante	Zacatecas	Artesanal	Clara
15	Brigada mutante	Zacatecas	Artesanal	Clara
16	1546	Zacatecas	Artesanal	Oscura
17	Sierra de Alica	Zacatecas	Artesanal	Clara
18	Sierra de Alica	Zacatecas	Artesanal	Clara
19	Sierra de Alica	Zacatecas	Artesanal	Oscura
20	Sierra de Alica	Zacatecas	Artesanal	Clara
21	Mala Fama	Zacatecas	Artesanal	Oscura
22	Mala Fama	Zacatecas	Artesanal	Clara
23	Brigada mutante	Zacatecas	Artesanal	Semi oscura
24	Brigada mutante	Zacatecas	Artesanal	Oscura
25	Bohemia	Nuevo León	Industrial	Clara
26	Bohemia	Nuevo León	Industrial	Clara
27	Dos Equis	Ciudad de México	Industrial	Clara
28	Dos Equis	Ciudad de México	Industrial	Semi oscura
29	Indio	Ciudad de México	Industrial	Semi oscura
30	Sol	Ciudad de México	Industrial	Clara

Se inició el análisis de las cervezas determinando la temperatura a la que se encontraba al momento de realizar las determinaciones en promedio se trabajó con cervezas a temperatura de $8.63 \pm 1.02^\circ\text{C}$. En la tabla 2 se puede observar los resultados del porcentaje de alcohol de cada una de las muestras. La muestra 3 es la que presenta mayor contenido de alcohol (7.9 %) y las muestras con menor contenido fueron la 10 y 16, ambas con un valor del tres por ciento, la diferencia puede deberse al control del proceso y tiempo de fermentación. Por otro lado, el contenido de alcohol total obtenido en el presente trabajo no corresponde a lo reportado en el etiquetado de los productos, resultados similares a los obtenidos por Gutiérrez et al. (2005). Los valores de metanol se mostraron muy por debajo de los valores permitidos de 300 mg/ml establecido en la NOM-199-SCFI-2017. Los sólidos solubles, se encuentran dentro de un rango comprendido de 4 a 8 °Brix.

La muestra 7 se encuentra por encima del promedio, con una concentración de 12°Brix y la muestra 14 registro el valor bajo de 2.6 °Brix. Los resultados de los parámetros de pH se encontraron en un rango

de 4 a 4.70, los valores obtenidos de la determinación de extracto seco muestran que el 76.6% de estos, se encuentra en un rango de 0.25 g/L a 1.5 g/L, sin embargo, encontramos algunos de estos sobresalientes como la muestra 21 con un valor de 1.5809 g/L, muestra 23 con un valor de 1.9349 g/L y muestra 24 con un valor de 1.8033 g/L. La muestra con los valores más pequeños fue: la 14 (0.2374 g/L) y 15 (0.2209 g/L). Los valores obtenidos en el análisis de cenizas se muestran en tabla 2, el 86.6% de estos valores están en 0.2500 mg/dm³ y 1.3000 mg/dm³, habiendo algunas excepciones como en la muestra 27 y 4, con valores de 1.3665 mg/dm³ y las muestras con los valores menores fueron la 6-Alimaña con un valor de 0.2490 mg/dm³ y la 14 con un valor de 0.2180 mg/dm³.

Tabla 2

Resultados de los análisis fisicoquímicos en las cervezas

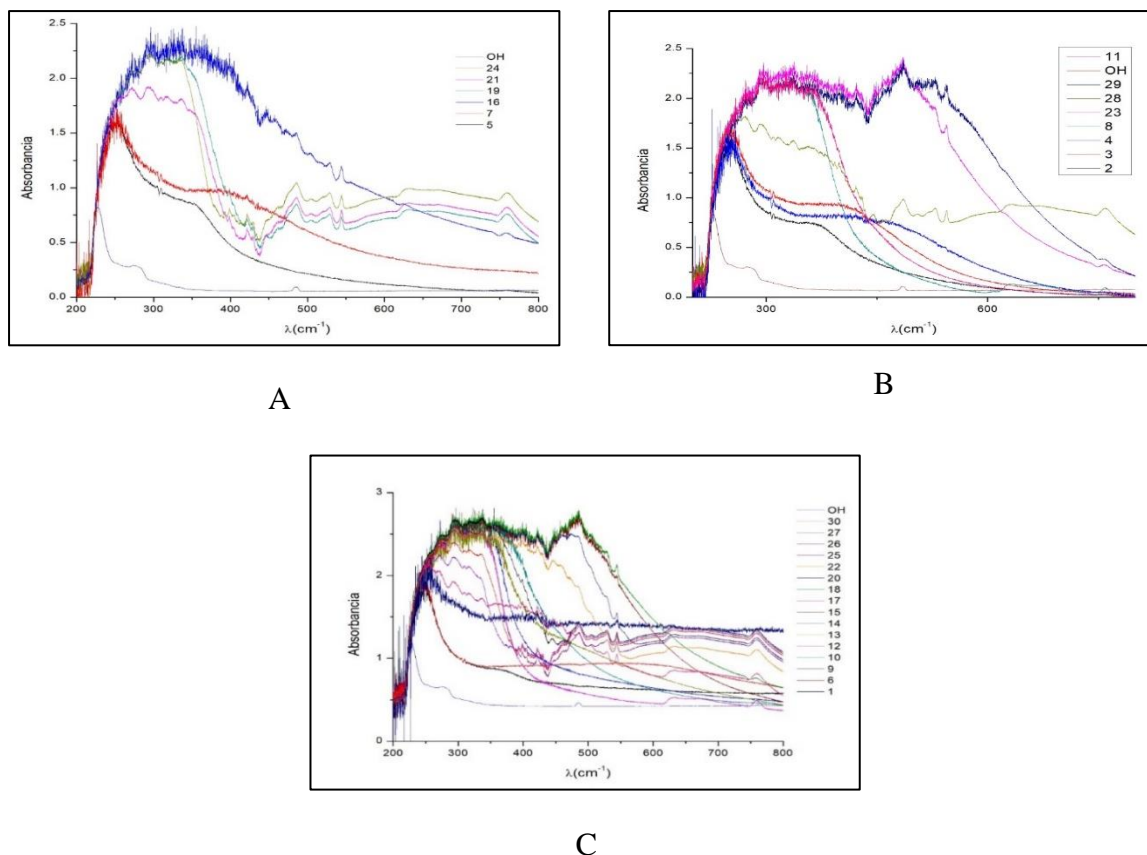
Número de muestra	Temperatura	°Brix	pH	% Acidez Expresada en ac. Láctico	Peso de extracto seco	Peso Cenizas (g)	% de Alcohol analizado	Metanol [mg/ml]
1	9.6	4.2	3.98	0.2	0.2793	0.256	5.3	4.22
2	9.8	5	4.4	0.1	0.3616	0.3455	5.4	1.63
3	9.9	7	4.44	0.2	0.4613	0.4433	7.9	3.9
4	9.5	5.8	4.45	0.2	0.4613	1.3665	5	0.74
5	7.7	8	4.29	0.3	0.8577	0.8413	3.8	0.69
6	8.7	3.5	4.27	0.1	0.2567	0.249	5	1.47
7	8.3	12	4.77	0.3	0.9103	0.8877	7.2	1.56
8	7	5.2	4.02	0.4	0.3762	0.3627	3.3	1.26
9	7.1	5.5	4.41	0.3	0.402	0.3838	4.8	1.6
10	7.1	5.2	4.72	0.2	0.4157	0.4001	3	12.58
11	6.8	6.5	4.62	0.3	0.4598	0.442	4.2	56.63
12	9.6	5	4.06	0.6	0.3967	0.3768	3.5	8.18
13	7.6	4.8	3.94	0.7	0.3549	0.3387	3.7	4.18
14	7.5	2.6	3.91	0.6	0.2374	0.218	4	1.93
15	8.3	4	4.38	0.6	0.2209	0.2055	4.4	2.31
16	9.3	4	4.02	0.3	0.4603	0.0389	3	2.69
17	9.2	5.5	4.67	0.4	0.3064	0.2868	5	2.76
18	9.1	5	3.86	0.7	0.2882	0.2717	3.8	2.18
19	8.4	5	3.93	0.5	0.3704	0.3505	3.8	2.42
20	8	5.5	4.34	0.2	0.3205	0.3113	3.3	2.13
21	8.1	9.2	4.37	0.2	1.5809	1.2188	4.5	2.29
22	9.2	9.1	4.46	0.4	0.5668	0.539	4	2.29
23	10.2	8	4.41	0.4	1.9349	1.0237	5.1	2.47
24	9.6	7	4.42	0.3	1.8033	1.656	3.5	2.09
25	7.7	6.8	4.37	0.3	0.3596	0.3511	5.7	2.54
26	10	7	4.53	0.4	1.1859	1.1214	4.8	1.74
27	8.3	5	4.04	0.3	0.6868	1.3675	4.9	1.75
28	10	6	4.2	0.5	0.7787	0.6143	4.2	1.92
29	8.1	5	4.16	0.6	0.4262	0.4086	4.8	2.52
30	9.2	5	4.01	0.5	1.2823	1.2596	4.8	2.89

Las bebidas alcohólicas, se catalogan por el color (clara, semi oscura y oscura) con base a la malta que se usa para su elaboración, se analizaron por espectroscopía UV-Vis, obteniendo señales analíticas propias. El espectro obtenido de las cervezas oscuras se muestra en la figura 1, se observan tres comportamientos de los espectros, siendo el primer grupo las muestras de cervezas 5 y 7 presentando una longitud de onda de 220-280 cm⁻¹ con un máximo de absorbancia de 1.6, el segundo grupo de muestras de cervezas son 19, 21 y 24 presentando una longitud de onda de 250-350 cm⁻¹ con un

máximo de absorbancia de 2.3 y el tercer grupo solo incluye a la muestra 16 la cual presenta una longitud de onda de 250-420 cm^{-1} con un máximo de absorbancia de 2.5.

Figura 1

Espectros de UV-Vis de Cervezas del tipo obscura (A), semi obscura (B) y claras (C).



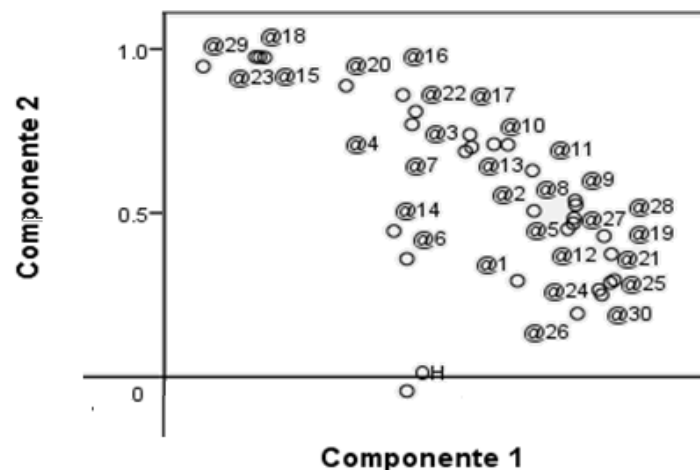
Los resultados de las cervezas del tipo semi obscura, se muestran en la figura 1 B, donde se observan cuatro comportamientos en los espectros, siendo el primer grupo las muestras de cervezas 2, 3 y 4 presentando una longitud de onda de 220-280 cm^{-1} con un máximo de absorbancia de 1.6, el segundo grupo de muestras de cervezas son 11 y 8 presentando una longitud de onda de 300-400 cm^{-1} con un máximo de absorbancia de 2.2, el tercer grupo solo incluye a la muestra 28 la cual presenta una longitud de onda de 250-400 cm^{-1} con un máximo de absorbancia de 1.7 y el cuarto grupo incluye las muestras 23 y 29 la cual presenta dos longitudes de onda, la primera de 300-450 cm^{-1} y la segunda de 450-550 cm^{-1} con un máximo de absorbancia 2.3.

En la figura 1 C se observa que los espectros de las cervezas del tipo clara cuentan con una banda centrada en 280-400 cm^{-1} y un rango de intensidad de 2-2.7 de absorbancia, siendo la muestra 27 que se desplaza en longitud de onda a 550 cm^{-1} y absorbancia de 2.7. Según lo reportado por Díaz (2013) en su trabajo de cervezas la mayor intensidad absorción para cervezas Ale y Lager aparece a 275 cm^{-1} , longitud de onda utilizada para la determinación del amargor. Siendo muy similar a los resultados de este trabajo ya que la máxima absorción se observó a 280 cm^{-1} para la mayoría de las cervezas analizadas. Además, Díaz (2013) reporta que, para cervezas de trigo, el máximo de absorbancia aparece a longitudes más cortas 266 cm^{-1} , siendo muy parecido el resultado de la muestra de cerveza que se elaboraron a base de trigo.

Para reducir las variables de los espectros obtenidos de las diferentes bebidas alcohólicas, se usó un método quimiométrico de patrones de reconocimiento y clasificación, así, se agruparon de acuerdo con las características propias de cada tipo, estos resultados se pueden observar en la figura 2, donde se aprecian los resultados de los scores de PCA de acuerdo con los componentes principales PC1 y PC2 que abarcan el 95.57% de varianza total de los datos analizados.

Figura 2

Análisis de componentes principales



El grado alcohólico da la medida de cuánto etanol presentan las cervezas al final de la fermentación, establecido por el contenido inicial de azúcares fermentables, y en el extracto soluble, que se denomina mosto, el 60% de las sustancias son fermentables que serán utilizadas por la levadura (Briggs et al., 1981). La cantidad de alcohol final, mostró valores diferentes entre las muestras, esto se debe a la cantidad de azúcares presentes en la malta y como resultado de una prolongación del tiempo de maceración (Waites, 2001), también depende de las condiciones de temperaturas en que se realiza el proceso de macerado, ya que cada enzima que acciona en el desdoblamiento del almidón a azúcares simples depende de la temperatura (Esslinger, 2009; Lyumugabe L., 2010). Para el presente estudio, se corroboró que el contenido de alcohol total de las muestras no corresponde a lo reportado en el etiquetado de los productos, resultados similares a los obtenidos por Gutiérrez et al. (2005), sin embargo, el total de estas, se encuentran dentro de los valores establecidos por la NOM-199-SCFI-2017. Por otro lado, los valores obtenidos de metanol, se mostraron muy por debajo de los valores permitidos de 300 mg/100 ml establecido, coincidiendo con los resultados obtenidos en el trabajo de calidad de varias cervezas mexicanas de Montoya et al. (2015).

Las bebidas alcohólicas, se catalogaron por el color (clara, semi oscura y oscura) en base a la malta que se usa para su elaboración, se analizaron con espectroscopía UV-Vis, obteniendo señales analíticas propias, observándose una buena discriminación entre los tipos de cervezas coincidiendo con el trabajo de Pontes et al. (2006), con lo anterior se muestra el potencial de este método, que, junto con la técnica de modelado PCA para el control de calidad de la cerveza, ya que evalúa de manera eficiente el tiempo de fermentación y el tipo de cereal empleado, y con ello se puede discriminar cervezas falsamente elaboradas. Según lo reportado por Díaz (2013) en su trabajo de cervezas la mayor intensidad absorción para cervezas Ale y Lager aparece a 275 cm⁻¹, longitud de onda utilizada para la determinación del amargor. Siendo muy similar a los resultados de este trabajo ya que la máxima absorción se observó a 280 cm⁻¹ para la mayoría de las cervezas analizadas. Además, Díaz (2013) reporta que, para cervezas de trigo, el máximo de absorbancia aparece a longitudes más cortas 266 cm⁻¹, siendo muy parecido el resultado de la muestra de cerveza que se elaboraron a base de trigo.

CONCLUSIONES

Las cervezas artesanales fabricadas en el estado de Zacatecas cumplen un bajo contenido de metanol, por lo tanto, la comercialización y venta de estas cervezas pueden competir en el mercado cervecero, usando la espectrometría UV-VIS se puede clasificar la cerveza y en conjunto con métodos de PCA puede ser un método alternativo eficaz para el control de calidad, puesto que, evalúa de manera eficiente el tiempo de fermentación y el tipo de cereal empleado, y con ello se puede discriminar aquellas que presenten alguna adulteración debido a la cantidad de muestra y la ausencia de reactivos lo hace más atractivo para su implementación.

REFERENCIAS

- Aguirre, O. D. M. M., Lozano, S. E., Ocampo, M. L. A., Torres, K. B., del Villar Martínez, A. A., & Aparicio, A. R. J. (2006). Cambios en la actividad de α -amilasa, pectinmetilesterasa y poligalacturonasa durante la maduración del maracuyá amarillo (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Degener). *Interciencia*, 31(10), 728-733.
- Aquilani, B., Laureti, T., Poponi, S., & Secondi, L. (2015). Beer choice and consumption determinants when craft beers are tasted: an exploratory study of consumer preferences. *Food Quality and Preference*, 41, 214-224.
- Beebe KR, P. R. (1998). *Quimiometría: una guía práctica*. New York: Wiley.
- Bhattacharjee, P., & O'Donnell, C. (2017). DETECTION OF ADULTERATION OF WHISKEY USING NIR AND UV-VIS SPECTROSCOPY. *BIOSYSTEMS AND FOOD ENGINEERING RESEARCH REVIEW* 22, 56.
- Brányik, T., Vicente, A.A., Dostálek, P., Teixeira, J.A., 2005. Continuous beer fermentation using immobilized yeast cell bioreactor systems. *Biotechnology Progress* 21 (3), 653–663.
- Briggs, D. E., Hough, J. S., Stevens, R., & Young, T. W. (1981). Malt and sweet wort. *Malting and brewing science*, 1, 59-61.
- Caballero, I., Blanco, C. A., & Porras, M. (2012). Iso- α -acids, bitterness and loss of beer quality during storage. *Trends in Food Science & Technology*, 26(1), 21-30.
- Calvillo, E. (2017). *La Cerveza Artesanal, una experiencia multisensorial*.
- Cedeño, MC (1995). Producción de tequila. *Revisiones críticas en biotecnología*, 15 (1), 1-11.
- Díaz, G. M. E. (2013). *Cerveza: componentes y propiedades*. Cerveza: Componentes y propiedades.
- Dong, L., Piao, Y., Zhang, X., Zhao, C., Hou, Y., & Shi, Z. (2013). Analysis of volatile compounds from a malting process using headspace solid-phase micro-extraction and GC-MS. *Food research international*, 51(2), 783-789.
- Eßlinger, H. M. (Ed.). (2009). *Handbook of brewing: processes, technology, markets*. John Wiley & Sons.
- Gómez-Corona, C., Escalona-Buendía, H. B., García, M., Chollet, S., & Valentin, D. (2016). Craft vs. industrial: Habits, attitudes and motivations towards beer consumption in Mexico. *Appetite*, 96, 358-367. doi: 10.1016/j.appet.2015.10.002.
- Gutiérrez, A., Elizondo, A., Días, A., Rousseau, I., Roa, R., Álvarez, M., & Tissone, M. (2002). Cervezas Artesanales: características fisicoquímicas y microbiológicas-comparación con cervezas industriales. *Industrialización de Alimentos. 4º Jornadas de desarrollo e Innovación*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Argentina.
- INEGI. (2018). *Estadísticas a propósito de la actividad de Elaboración de Cerveza*. En E. económica. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- Lentini, A., Rogers, P., Higgins, V., Dawes, I., Chandler, M., Stanley G. and Chambers P. (2003) The impact of ethanol stress on yeast physiology. In *Brewing Yeast Fermentation Performance*. Editors: Katherine Smart.
- López, E. M. (2017). Determinación de parámetros fisicoquímicos de cerveza artesanal. *Publicaciones Didácticas*, pág. 450-455.

Lyumugabe, F., Kamaliza, G., Bajyana, E., & Thonart, P. H. (2010). Microbiological and physico-chemical characteristic of Rwandese traditional beer "Ikigage". *African Journal of Biotechnology*, 9(27), 4241-4246.

MacKenzie, W. M., & Aylott, R. I. (2004). Analytical strategies to confirm Scotch whisky authenticity. Part II: Mobile brand authentication. *Analyst*, 129(7), 607-612.

Montoya M., (2015). Quality of various mexican commercial beers. Congreso Internacional de Biología, Química y Agronomía. UNICO., 1283-1288.

NIBEM. (1973). European Brewery Convention. Austria: Congreso de Salzburgo.

NMX-F-103-NORMEX-2009. Alimentos-Determinación de Grados Brix en Alimentos y Bebidas. Método de Ensayo (Prueba). Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.

NMX-V-013-S-1980. Bebidas alcohólicas destiladas. Determinación del por ciento de alcohol en volumen en la escala Gay-Lussac a 288 K (15°C). Normas mexicanas. Dirección General de Normas.

NMX-V-016-1980. Bebidas alcohólicas destiladas. Determinación de acidez total. Distilled alcoholic beverages. Determination of total acidity. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.

NMX-V-017-S-1981. Bebidas alcohólicas. Determinación de extracto seco y cenizas. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.

NOM-199-SCFI-2017, Bebidas alcohólicas-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de octubre de 2017.

Pontes, M. J. C., Santos, S. R. B., Araujo, M. C. U., Almeida, L. F., Lima, R. A. C., Gaiao, E. N., & Souto, U. T. C. P. (2006). Classification of distilled alcoholic beverages and verification of adulteration by near infrared spectrometry. *Food Research International*, 39(2), 182-189.

Recio, G. (2014). El nacimiento de la industria cervecera en México, 1880-1910. México: Facultad de Economía de la UNAM.

Rosovsky H., N. A. (2013). Evolution in alcohol intake per capita in Mexico. *Salud Mental*, Vol 15, 35-41 p.

Vogel, W. (2003). Elaboración casera de cerveza (No. Ta0512). Editorial Acribia.

Waites M., (2001). Industrial microbiology and introduction. Londres, Inglaterra: Blackwell Science.