

APROVECHAMIENTO DE LA PULPA DE TUNA (*OPUNTIA FICUS-INDICA*) COMO INGREDIENTE TECNOLÓGICO EN LA ELABORACIÓN DE UNA CERVEZA ARTESANAL TIPO ALE.

UTILIZATION OF PRICKLY PEAR PULP (*OPUNTIA FICUS-INDICA*) AS A TECHNOLOGICAL INGREDIENT IN THE PRODUCTION OF AN ALE-TYPE CRAFT BEER.

Reyes García I.A., Pascual-Bustamante S., Trejo-Márquez M.A.*

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Laboratorio de Postcosecha de Productos Vegetales, Centro de Asimilación Tecnológica. Jiménez Cantú s/n, San Juan Atlámica, C. P. 54729, Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, México.

*e-mail: andreatrejo@unam.mx

RESUMEN

En la actualidad, México destaca a nivel internacional como uno de los principales actores de la industria cervecera, ocupando el séptimo lugar en producción, el primero en exportaciones y con presencia en más de 130 países. Paralelamente, el país es el principal productor mundial de tuna (*Opuntia ficus-indica*), fruto endémico de gran valor cultural y productivo. El objetivo fue aprovechar la pulpa de tuna como ingrediente en la elaboración de una cerveza artesanal tipo Ale con potencial de escalamiento. Se utilizaron pulpas de dos colores (verde y roja) procedentes de Puebla, a las cuales se les determinaron: color, sólidos solubles, pH, acidez titulable, contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante y contenido de betalainas. Se evaluaron dos porcentajes de pulpa (0, 7.5, 15 %) para la elaboración de las formulaciones de cerveza, analizando la cinética de fermentación alcohólica durante 12 días para identificar la formulación óptima a partir del consumo de azúcares y porcentaje de alcohol. Los resultados indicaron que las formulaciones con 15 % de pulpa de tuna roja y verde fueron las más adecuadas. A estas se les evaluaron propiedades fisicoquímicas, físicas, químicas y características sensoriales, además del diseño de etiquetas conforme a la NOM-142 para bebidas alcohólicas

PALABRAS CLAVE: Cinética de fermentación, Betalainas, Capacidad antioxidante, Cerveza Artesanal, Ale, *Opuntia Ficus-Indica*

ABSTRACT

Currently, Mexico stands out internationally as one of the leading players in the brewing industry, ranking seventh in production, first in exports, and with a presence in more than 130 countries. At the same time, the country is the world's leading producer of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*), an endemic fruit of great cultural and productive value.

The objective of this study was to utilize prickly pear pulp as an ingredient in the production of an Ale-type craft beer with scaling potential. Pulp of two colors (green and red) from Puebla were used, and the following parameters were determined: color, soluble solids, pH, titratable acidity, total phenolic content, antioxidant capacity, and betalain content.

Two pulp concentrations (0, 7.5, and 15%) were evaluated for beer formulation. Alcoholic fermentation kinetics were monitored over 12 days to identify the optimal formulation based on sugar consumption and alcohol content.

The results indicated that formulations containing 15% red and green prickly pear pulp were the most suitable. These formulations were further evaluated for physicochemical, physical, chemical, and sensory properties, as well as for label design in accordance with NOM-142 standards for alcoholic beverages.

KEYWORDS: Fermentation kinetics, Betalains, Antioxidant capacity, Ale-type craft beer, *Opuntia ficus-indica*

ÁREA: Microbiología y biotecnología



INTRODUCCIÓN

La cerveza es una de las bebidas más antiguas de la humanidad y la primera bebida alcohólica registrada, con presencia histórica en civilizaciones como Mesopotamia, África, Asia y América, donde se elaboraba a partir del cereal disponible en cada región. A lo largo del tiempo, ha diversificado sus estilos sin modificar sus ingredientes básicos: agua, cebada, lúpulo y levadura. En la actualidad, México destaca a nivel internacional como uno de los principales actores de la industria cervecera, ocupando el séptimo lugar en producción, el primero en exportaciones y con presencia en más de 130 países. Paralelamente, el país es el principal productor mundial de tuna (*Opuntia ficus-indica*), fruto endémico de gran valor cultural y productivo.

La incorporación de tuna en la elaboración de cerveza representa una oportunidad para integrar identidad regional e innovación tecnológica en el desarrollo de bebidas artesanales. En este contexto, el presente trabajo se centra en la elaboración y caracterización de una cerveza tipo Ale adicionada con jugo de tuna, evaluando el efecto de la concentración (hasta 15%) y del tipo de tuna (verde y roja) sobre sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales. Los resultados mostraron diferencias significativas en la composición de las pulpas, particularmente en parámetros como densidad, pH, °Brix, acidez, contenido fenólico y capacidad antioxidante, destacando una mayor presencia de betacianinas en la tuna roja.

El análisis de las cinéticas de fermentación indicó que la concentración de tuna es el factor determinante en el consumo de azúcares y la producción de alcohol, siendo óptimas las formulaciones al 15 % para ambos tipos de tuna. Asimismo, se observaron variaciones en la determinación del contenido alcohólico entre el método empírico y el método de destilación, evidenciando posibles desviaciones experimentales. Finalmente, la caracterización de las cervezas obtenidas reveló diferencias significativas en sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales, lo que confirma que la adición de pulpa de tuna influye positivamente en la calidad y características del producto final, posicionándose como una alternativa viable para el desarrollo de cervezas artesanales innovadoras.

MATERIALES Y MÉTODOS

Elaboración de cerveza artesanal tipo Ale. Se emplearon como materias primas levadura, malta y lúpulo de la marca Beverage Supplies, siguiendo estrictamente las instrucciones de preparación proporcionadas por el fabricante. La tuna (*Opuntia ficus-indica*) utilizada como materia prima complementaria procedente del estado de Puebla, en estado fresco y transportada por vía terrestre con adecuada calidad para el proceso.

Análisis fisicoquímicos y químicos de tuna y cerveza. Para las pulpas se analizaron: color se determinó mediante un colorímetro Minolta, la densidad se evaluó utilizando un picnómetro, mientras que el pH se midió con un potenciómetro (Emerson Process Management, 2010) y la acidez total se determinó por titulación conforme a normas oficiales (DOF, n.d.), los sólidos solubles se cuantifican en °Brix mediante el uso de un refractómetro (Considine & Frankish, 2023). Asimismo, los compuestos fenólicos totales mediante el método de Folin-Ciocalteu (Pérez et al., 2023), y la capacidad antioxidante se evaluó mediante el método ABTS (Ilyasov et al., 2020). La determinación de betalainas se realizó utilizando espectrofotometría (Castellar et al., 2003).

Para las cervezas además se evaluó el contenido de alcohol mediante el método empírico basado en la cinética de fermentación (Tapiero Cuellar, n.d.) y se corroboró mediante destilación conforme a métodos estandarizados (NMX-V-013-NORMEX-2019). El amargor se determinó por espectrofotometría de acuerdo con métodos oficiales de análisis cervecero (ASBC, n.d.). Finalmente, las propiedades sensoriales del producto final fueron evaluadas a través de un análisis sensorial siguiendo metodologías reconocidas (BJCP, 2022; ASBC, n.d.). Todos los análisis se realizaron siguiendo metodologías estandarizadas para garantizar la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tuna es una fruta endémica de México rica en azúcares, pectina, algunos minerales, vitaminas. Dichos frutos presentan también un alto contenido en fibra que favorece la digestión y el control glucémico con un gran potencial tecnológico. En la tabla 1 se muestran los parámetros físicos y fisicoquímicos de la tuna verde y roja, encontrándose que presentan diferencias significativas en pH, porcentaje de acidez y sólidos solubles; siendo los parámetros de color (croma y tono) los que difieren grandemente a causa de la presencia de pigmentos de la tuna roja.

Tabla 1. Parámetros físicos y fisicoquímicos de la tuna verde y roja.

componente	Tuna Verde	Tuna Roja
pH	6.16+/-0.01 a	6.37 +/- 0.04 b
Acidez (% ácido cítrico)	0.07 +/- 0.0001 a	0.05 +/-0.0001 b
Sólidos solubles (° Bx)	11.1 +/- 0.1 a	13.66 +/- 0.1 b
Croma	37.73 +/- 0.30 b	49.57 +/- 2.58 a
Tono	111.271 +/-1 1.728 a	2.86 +/-1 3.31 b

Por otra parte, la tuna roja es rica en compuestos fenólicos y pigmentos del grupo de las betalainas, particularmente betacianinas. Dichos compuestos son los que le confieren su elevada capacidad antioxidante; en contraste con la tuna verde que, contiene principalmente azúcares, compuestos fenólicos y principalmente betaxantinas. En la figura 1 se muestran las propiedades químicas de la pulpa de la tuna roja y la verde, se observan diferencias significativas entre tunas verdes y rojas.

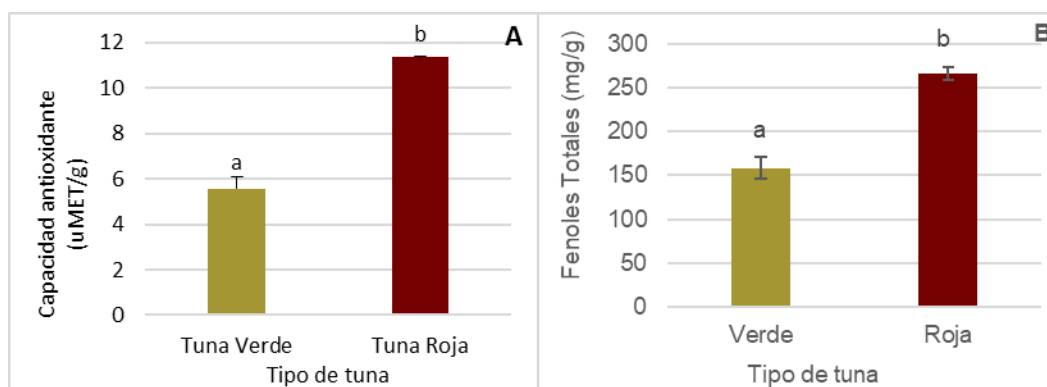
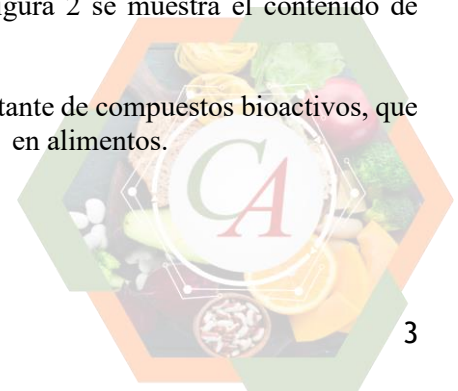


Figura 1. Propiedades químicas; capacidad antioxidante (A) y contenido de fenoles totales (B) de tuna verde y roja.

Las betalainas en la tuna roja pueden variar dependiendo de varios factores como el cultivar, el grado de madurez y las condiciones de cultivo. En la tuna roja encontramos betacianinas que suelen ser el grupo predominante, mientras que las betaxantinas se encuentran en menor proporción. En la figura 2 se muestra el contenido de betacianinas, betaxantinas y betalainas de la tuna.

En general estos componentes confirman que la tuna roja es una fuente importante de compuestos bioactivos, que le confieren alta actividad antioxidante y su potencial como colorante natural en alimentos.



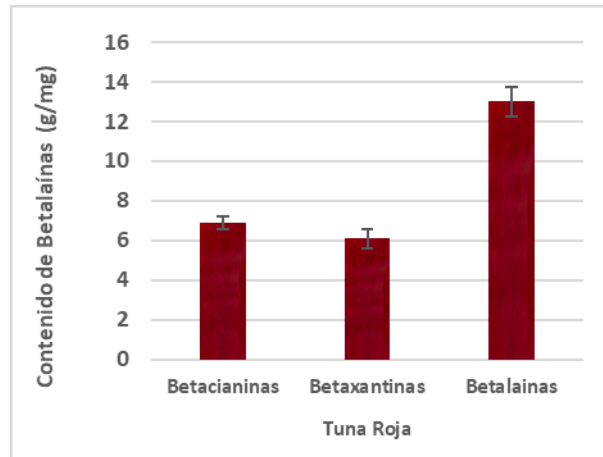


Figura 2. Contenido de betalaínas, betacianinas y betaxantinas en pulpa de tuna roja

Una vez caracterizada la pulpa de las tunas rojas y verdes, se procedió a la elaboración artesanal de la cerveza tipo Ale elaborada por el método tradicional, en el cual, se incorpora a la formulación el jugo de la pulpa de las tunas. Posteriormente se realizó un seguimiento de la cinética de fermentación durante 12 días; en el cual se determinó el consumo de azúcares ($^{\circ}$ Bx) y la producción de alcohol (% Alc). En la figura 3 se muestra la comparación de la cerveza control (sin jugo de tuna) y las cervezas adicionadas con 15 % de jugo de tuna verde o roja. La cerveza control inició su nivel de sólidos solubles con 11.7 $^{\circ}$ Bx y 0% de grado alcohol; y al final del proceso de fermentación alcanzó 7 $^{\circ}$ Bx y 4.46 % de Alc; mientras que la cerveza con tuna verde, bajo las mismas condiciones de proceso, concluyó con 5.86 $^{\circ}$ Bx y 5.24 % de Alc. Estos resultados muestran que la adición de jugo de tuna en la segunda semana de fermentación favorece una mayor reducción de azúcares y un incremento en el contenido de alcohol. En el día 7 se observó un aumento en los sólidos solubles y una disminución en el grado de alcohol, debido a la incorporación del jugo de tuna. Al final del proceso se registró un mayor consumo de azúcares y una mayor producción de etanol. Este comportamiento puede atribuirse a la presencia de los azúcares simples provenientes del jugo de tuna adicionado, los cuales son metabolitos para las levaduras, por lo que se incrementó la eficiencia de la fermentación.

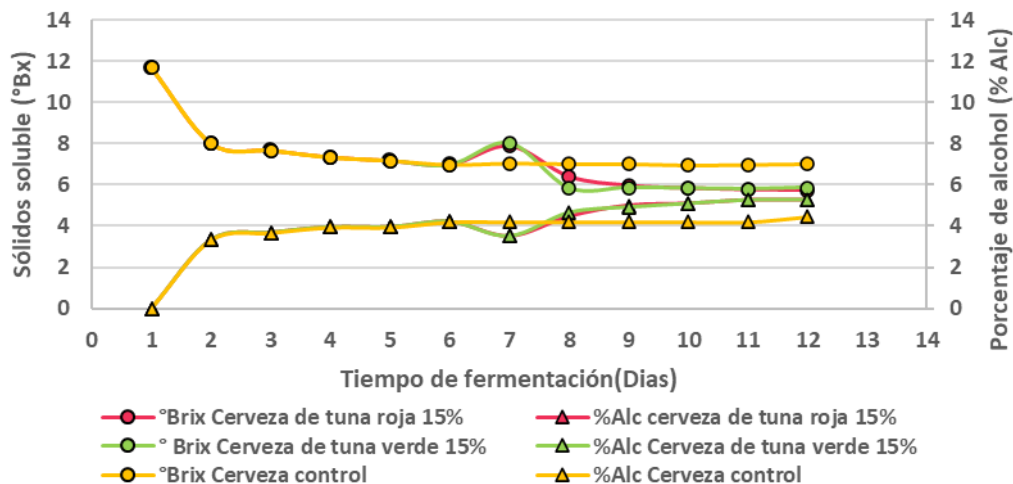


Figura 3. Cinética de fermentación alcohólica de la cerveza control y con jugo de tuna verde y roja al 15 % de concentración.

La figura 4 muestra la cinética de fermentación alcohólica evaluada de la cerveza control y las cervezas con jugo de tuna verde y roja al 7.5 % de concentración durante un tiempo de 12 días en la cual se evaluó la reducción de azúcares usando los ° Brix como referencia y el aumento del % Alc. La cinética de la cerveza control comenzó con 11.7 °Bx y 0 % Alc y para el día 12 los °Brix disminuyeron a 7 y el %Alc aumentó a 4.46, para la cerveza de tuna roja comenzó con 11.7 °Bx y 0 % Alc y terminó con 6.21 °Bx y 5.01 % Alc y para la cerveza de tuna verde comenzó con 11.7 °Bx y 0 % Alc y terminó con 6.73 °Bx y 4.66 % Alc. Estos resultados nos dicen que al agregarle jugo de tuna verde y roja a la cerveza control en la segunda semana de fermentación tiene un impacto considerable en la reducción de azúcares y el aumento del %Alc., aunque es notable que en el día 7 hubo un incremento de °Brix y una disminución de %Alc esto por haberle agregado el jugo de tuna, al final de la fermentación se obtiene un mayor consumo de azúcares y un mayor % Alc esto puede ser debido a que el jugo de tuna tiene azúcares fermentables que favorecen a la fermentación ya que las levaduras necesitan consumir azúcares para generar etanol como resultado un mayor consumo de azúcares y un mayor % Alc.

Por otra parte, en la figura 4 se muestran las cinéticas de fermentación alcohólica de la cerveza control y de las cervezas adicionadas con 7.5 % de jugo de tuna verde y roja. El proceso fue monitorizado durante 12 días; encontrándose una disminución de azúcares y un incremento del grado de alcohol. La cerveza control inició con 11.7 de sólidos solubles (°Bx) y 0 % Alc y los 12 días alcanzó 7 °Bx y 4.46 % Alc. En el caso de la cerveza con tuna roja, finaliza el proceso de fermentación con 6.21 °Bx y 5.01 % Alc; mientras que la cerveza con jugo de tuna verde, bajo las mismas condiciones, terminó con 6.73 °Bx y 4.66 % Alc. Estos resultados indicaron que la adición de tuna en la segunda semana de fermentación también influyó significativamente en la reducción de azúcares y el incremento de contenido alcohólico.

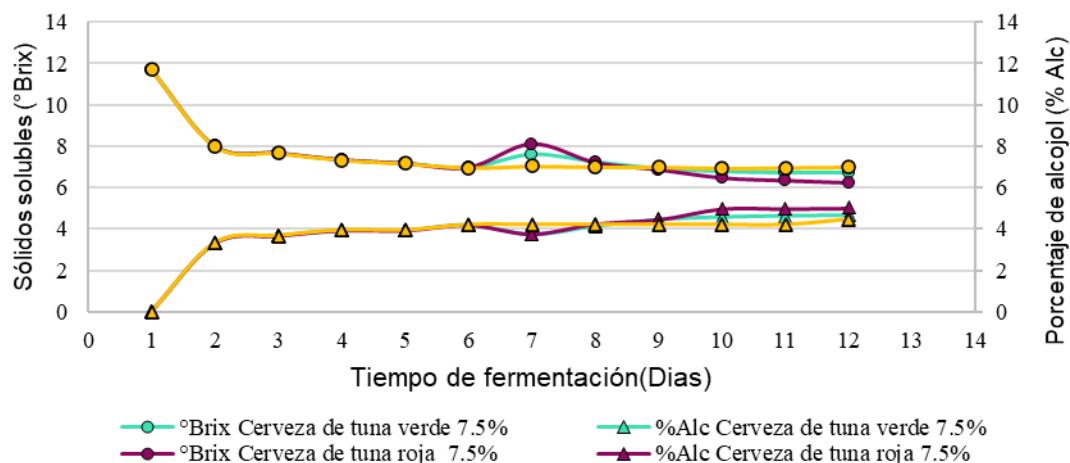


Figura 4. Cinética de fermentación alcohólica de la cerveza control y con jugo de tuna verde y roja al 7.5 % de concentración.

Una vez seleccionado el porcentaje de jugo de tuna, se procedió a caracterizar las cervezas. En la evaluación de la calidad se evaluaron parámetros como: el amargor, turbidez, grado de alcohol y la densidad; los cuales son fundamentales porque afectan las características sensoriales y la estabilidad del producto.

Las cervezas elaboradas con tuna verde, roja y control se evaluaron la capacidad antioxidante (Figura 5A). En la capacidad antioxidante se observa que la cerveza elaborada con tuna roja incrementó más de 2 veces su capacidad antioxidante y se muestran diferencias significativas entre las propiedades de la cerveza con jugo de tuna roja y

verde y la cerveza control, esto debido a la presencia de betalainas y compuestos fenólicos de la tuna roja adicionada; lo que favoreció mucho el valor nutrimental del producto.

Por otra parte, el grado de alcohol no solo define la intensidad del producto, sino que también incide en la percepción sensorial del cuerpo y la vida útil; al actuar como inhibidor del crecimiento microbiano (Briggs et al., 2004). En la figura 5B se observa que la cerveza con jugo de tuna verde fue la que alcanzó un grado de alcohol ligeramente superior a 4; mientras que la cerveza de tuna roja apenas alcanzó el 3 %.

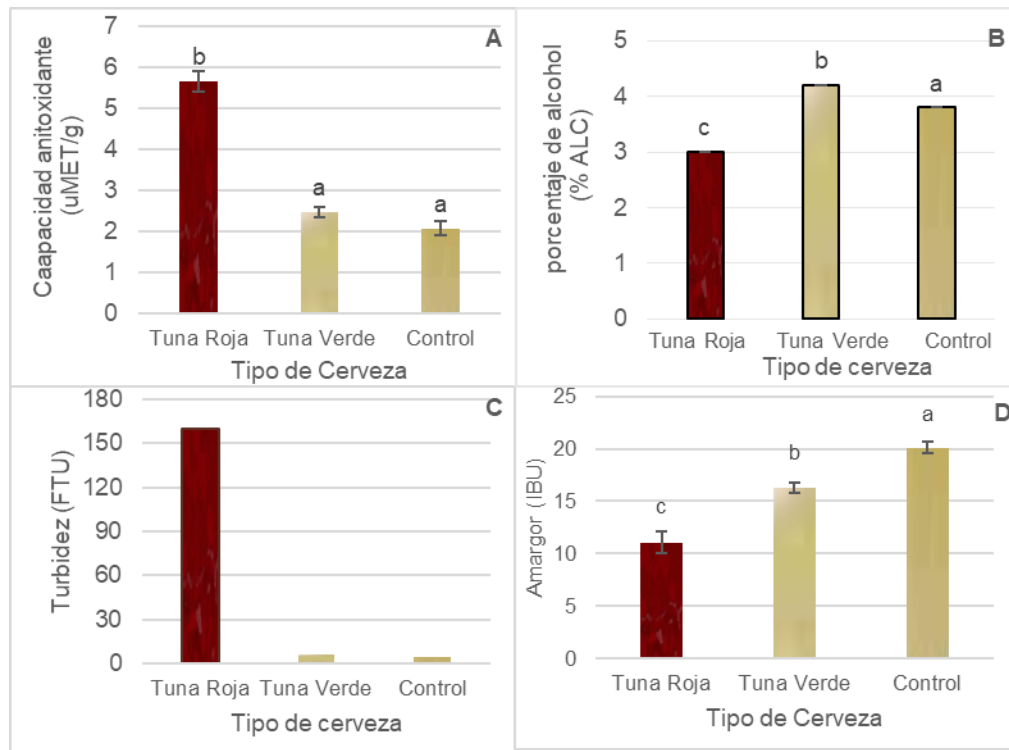


Figura 5. Parámetros de calidad: (A) capacidad antioxidante, (B) porcentaje de alcohol, (C) turbidez y (D) amargor de cervezas de tuna verde, roja y control

La turbidez (Figura 5 C) está asociada a la presencia de proteínas, polifenoles y levaduras en la suspensión; su control es esencial porque influye en la apariencia y aceptación del producto por parte del consumidor; así como en la estabilidad del sistema coloidal durante su almacenamiento (Stewart, 2017). En el caso del presente estudio la tuna roja efecto este parámetro haciendo que su adición confirieron algunos componentes que provocaron una mayor turbidez.

El amargor (Figura 5D) medido en unidades internacionales (IBU) proviene principalmente de los iso- α -ácidos del lúpulo (*Humulus lupulus*) y es clave para equilibrar la dulzura de las maltas. Además, estos componentes aportan propiedades antimicrobianas que contribuyen a la conservación (Bamforth, 2009).

Por otra parte, la densidad permite estimar la cantidad de azúcares fermentables y el rendimiento de la fermentación, siendo un indicador del contenido alcohólico y de la consistencia del proceso productivo. En el caso de la cerveza de tuna roja fue la menos densa con 1.009 g/ml, y con mayor densidad la cerveza control y la de tuna verde 1.01 g/mL. En conjunto, estos parámetros son esenciales para asegurar la calidad, reproducibilidad y

aceptación comercial de la cerveza, integrando aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales (Briggs et al., 2004; Bamforth, 2009; Stewart, 2017).

Las propiedades sensoriales de las cervezas son un aspecto central de las cervezas artesanales, ya que los atributos como apariencia, aroma, sabor y sensación en boca permiten detectar aceptación y diferencias entre los productos del mercado. Las cervezas de este estudio no presentaron diferencia significativa en sabor, aroma, presencia de alcohol, sensación en boca y la cerveza con jugo de tuna roja fue ligeramente más aceptada por los panelistas.

La apariencia incluye parámetros relacionados con el color, claridad y formación de espuma; los cuales están influenciados por las materias primas y el proceso de elaboración. El aroma y el sabor provienen de compuestos volátiles producidos durante la fermentación (ésteres, alcoholes superiores y compuestos fenólicos), así como de los ingredientes añadidos, como lúpulo, maltas especiales o las frutas adicionadas. Las cervezas elaboradas con jugo de tuna fueron aceptadas y evaluadas adecuadamente.

Diversos estudios han señalado que la incorporación de ingredientes no convencionales, como frutas o extractos vegetales, puede mejorar el perfil sensorial al aportar compuestos bioactivos y matices organolépticos distintivos, aunque también requiere un adecuado equilibrio para evitar sabores indeseables (Steensels & Verstrepen, 2014).

CONCLUSIONES

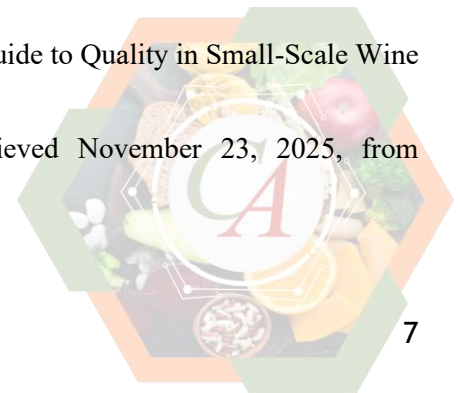
Las propiedades de la tuna permiten contar con un fruto rico en compuestos bioactivos y azúcares que pueden servir de fuente de sustrato para las levaduras en la producción artesanal de cerveza. Además, la cerveza estilo Pale American Ale con jugo de tuna cumple con los parámetros fisicoquímicos y químicos de una cerveza estilo Ale, en turbidez, amargor, grado de alcohol, y fue aceptada sensorialmente por consumidores potenciales. Por lo que, al añadir pulpa de tuna como ingrediente en la elaboración de cerveza tendrá un impacto positivo en las propiedades nutricionales como contenido de antioxidantes de la cerveza.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto PAPITT de la UNAM (IT202124) y a la cátedra de investigación CI2408 por el apoyo en el financiamiento de este trabajo. Así como al I.M. E. Omar Olvera, técnico académico de la FES-Cuautitlán, por su apoyo en el desarrollo de este proyecto.

BIBLIOGRAFIA

- ASBC Beer Color and Turbidity ASBC Color. (n.d.). Retrieved November 25, 2025, from www.scisoc.org/aacc.
- Bamforth, C. W. (2009). *Beer: Tap into the Art and Science of Brewing*. Oxford University Press.
- Briggs, D. E., Boulton, C. A., Brookes, P. A., & Stevens, R. (2004). *Brewing: Science and Practice*. Woodhead Publishing.
- Castellar, R., Obón, J. M., Alacid, M., & Fernández-López, J. A. (2003). Color Properties and Stability of Betacyanins from Opuntia Fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(9), 2772–2776. <https://doi.org/10.1021/JF021045H>
- Considine, J. A., & Frankish, E. J. (2023). Essential analyses. A Complete Guide to Quality in Small-Scale Wine Making, 163–180. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99287-9.00003-6>
- Datacolor. (n.d.). Colorimetric Fundamentals Part II - CIELAB. Retrieved November 23, 2025, from www.datacolor.com



Emerson Process Management. (2010). Theory and Practice of pH Measurement (p. 35). https://www.emerson.com/documents/automation/manual-theory-practice-of-ph-measurement-en-70736.pdf?utm_source=chatgpt.com

DOF - Diario Oficial de la Federación. (n.d.). Retrieved November 23, 2025, from https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5244246&utm_source=chatgpt.com

Ilyasov, I. R., Beloborodov, V. L., Selivanova, I. A., & Terekhov, R. P. (2020). ABTS/PP Decolorization Assay of Antioxidant Capacity Reaction Pathways. *International Journal of Molecular Sciences* 2020, Vol. 21, Page 1131, 21(3), 1131. <https://doi.org/10.3390/IJMS21031131>

Pérez, M., Domínguez-López, I., & Lamuela-Raventós, R. M. (2023). The Chemistry Behind the Folin–Ciocalteu Method for the Estimation of (Poly)phenol Content in Food: Total Phenolic Intake in a Mediterranean Dietary Pattern. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(46), 17543. <https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.3C04022>

Tapiero Cuellar J. L. (n.d.). Cinética del proceso de fermentación alcohólica en la producción de hidromieles a partir de mieles monoflorales colombianas.

Secretaría de Economía (2019). NMX-V-013-NORMEX-2019. (n.d.). Retrieved November 24, 2025, from <https://platiica.economia.gob.mx/normalizacion/nmx-v-013-normex-2019/>

Stewart, G. G. (2017). *Brewing and Distilling Yeasts*. Springer.

Steensels, J., & Verstrepen, K. J. (2014). Taming wild yeast: Potential of conventional and nonconventional yeasts in industrial fermentations. *Annual Review of Microbiology*, 68, 61–80. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-091213-113025>

