



Received: Abr 27, 2026 / Accepted: May 30, 2026

Artículo original

Caracterización fisicoquímica y sensorial de vinagre tinto elaborado a partir de tuna morada (*Opuntia ficus-indica*).

Physicochemical and sensory characterization of real vinegar produced from purple prickly pear (*Opuntia ficus-indica*)

D. J. Miranda-Cabrera^{1*} , G. Vásquez-Clavo¹ , E. M. Caro-Degollar¹ 
, J. Mendoza-Ascurra¹ , F. Rojas-Ruiz¹ 



<https://doi.org/10.51431/par.v8i1.1109>

Resumen

Objetivo: Determinar los parámetros óptimos para la obtención de vinagre tinto a partir de tuna (*Opuntia ficus-indica*) variedad morada. **Metodología:** El mosto de tuna fue estandarizado a 13 °Brix y sometido a fermentación alcohólica utilizando la levadura *Saccharomyces cerevisiae* en un biorreactor de 20 L a temperatura ambiente (24 °C). El proceso se monitoreó mediante la estabilización de los sólidos solubles. Posteriormente, el fermentado se sometió a una fermentación acética mediante el método tradicional de "Orleans" (método lento) en un recipiente de 10 L inoculado con bacterias acéticas. **Resultados:** Tras la acetificación, el vinagre fue clarificado y estabilizado para eliminar turbidez y prevenir la actividad bacteriana residual, destacando una acidez total de 5.8% y un extracto seco de 3.3%. El producto se envasó en recipientes de color ámbar para protegerlo de la fotodegradación. **Conclusiones:** Se logró un vinagre con características fisicoquímicas (grado alcohólico, densidad, pH, acidez fija y volátil, extracto seco y acetato de etilo) y sensoriales (color, aroma y sabor) que demuestran la viabilidad técnica de la tuna morada como materia prima agroindustrial, alcanzando una alta aceptación general.

Palabras clave: Fermentación acética, Fermentación alcohólica, *Saccharomyces cerevisiae*, *Opuntia ficus-indica*, método de Orleans.

Abstract

Objective: To determine the optimal parameters for producing red vinegar from purple prickly pear (*Opuntia ficus-indica*). **Methodology:** Prickly pear must was standardized to 13 °Brix and underwent alcoholic fermentation using *Saccharomyces cerevisiae* yeast in a 20 L bioreactor at room temperature (24 °C). The process was monitored through the stabilization of soluble solids. Subsequently, the fermented liquid was subjected to acetic fermentation using the traditional "Orleans" method (slow method) in a 10 L vessel inoculated with acetic acid bacteria. **Results:** Following acetification, the vinegar was clarified and stabilized to remove turbidity and prevent residual bacterial activity, achieving a total acidity of 5.8% and a dry extract of 3.3%. The final product was bottled in amber glass containers to protect it from photodegradation. **Conclusions:** A vinegar with optimal physicochemical characteristics (alcohol content, density, pH, fixed and volatile acidity, dry extract, and ethyl acetate) and sensory attributes (color, aroma, and flavor) was obtained. These results demonstrate the technical viability of the purple prickly pear as an agro-industrial raw material, achieving high general acceptance.

Keywords: Acetic fermentation, alcoholic fermentation, *Saccharomyces cerevisiae*, *Opuntia ficus-indica*, Orleans method.

¹Docente del Departamento Académico de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú

*Autor para correspondencia: dmiranda@unifsc.edu.pe

Introducción

El vinagre tinto es un producto de alta demanda tanto en el sector industrial como en el doméstico. Tradicionalmente, su obtención se basa en la acetificación de vinos elaborados con uvas tintóreas; no obstante, en años recientes, el incremento en su consumo ha chocado con la limitada disponibilidad de estas uvas, las cuales se destinan prioritariamente al consumo en fresco o a la industria vinícola por su mayor rentabilidad económica. Ante este escenario, Enciso-Roca et al. (2021) plantean que la tuna (*Opuntia ficus-indica*) representa una alternativa viable debido a sus propiedades nutricionales, medicinales y antioxidantes. Al respecto, Mejía y Yanacallo, (2023) señalan que el aprovechamiento de la pulpa y la cáscara permite la diversificación agroindustrial, incluyendo la producción de vinagre. Esta fruta destaca por una composición rica en azúcares, proteínas, minerales, vitaminas, ácidos grasos y polifenoles de alta importancia biológica (García-Curiel et al., 2024).

En la actualidad, algunos productores emplean materias primas de bajo costo y rápida elaboración, como el alcohol etílico rectificado para obtener vinagre blanco, o el ácido acético glacial diluido. Este último suele ser adulterado con colorantes sintéticos derivados de la hulla y el alquitrán para simular el vinagre tinto, sustancias que son consideradas carcinogénicas y nocivas para la salud. Esta problemática subraya la urgencia de investigar fuentes naturales y económicas para la producción de vinagre. En esta línea, Guerrero-Rodríguez (2018) propuso un diseño industrial para la obtención de bebidas fermentadas a base de tuna, sentando un precedente para su transformación tecnológica.

En el contexto peruano, existe una vasta producción de tunas en sus variedades morada, amarilla y blanca. Según Huamaní (2023), la región andina presenta una sobreproducción entre los meses de enero y abril. A pesar de sus excepcionales características, la tuna es percibida erróneamente como una "fruta corriente" y se considera altamente perecedera. Al ser un fruto no climatérico, su deterioro se acelera por un deficiente manejo en la cosecha y poscosecha, sufriendo daños mecánicos, infecciones patológicas y sensibilidad al frío. Estos factores conllevan a una pérdida drástica de calidad y, consecuentemente, a una reducción de su valor comercial en estado fresco.

Por lo expuesto, el presente trabajo de investigación se propone obtener vinagre utilizando como materia prima la tuna morada, aprovechando su pigmento natural (betanina) y su contenido de azúcares y nutrientes. De esta manera, se busca ofrecer una alternativa de bajo costo durante la época de sobreproducción, otorgando un mayor valor agregado a este recurso. Los objetivos de este estudio son: determinar los parámetros óptimos para la elaboración del vinagre y realizar su caracterización físico-química y organoléptica.

Metodología

Tipo y lugar de ejecución

La investigación fue de tipo experimental con enfoque cuantitativo, basada en procedimientos controlados de laboratorio para determinar los parámetros óptimos en la elaboración de vinagre a partir de tuna morada (*Opuntia ficus-indica*). La fase experimental se llevó a cabo en el laboratorio de Control de Calidad, Toxicología y Química de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Los análisis fisicoquímicos complementarios se realizaron en el laboratorio del Programa de Nutrición de la Universidad Femenina del Sagrado Corazón (UNIFÉ).

Materia prima e insumos

Materia prima: Frutos de tuna (*Opuntia ficus-indica*) variedad morada, procedentes de Huaraz y adquiridos en el Mercado Mayorista de Frutas de Lima. Se seleccionaron frutos en estado de madurez comercial (15 °Brix) y libres de daños mecánicos o fitosanitarios.

Material biológico: Cepa liofilizada de *Saccharomyces cerevisiae* y bacterias acéticas (cepa nativa) aisladas de vinagre de vino.

Medios de cultivo y nutrientes: Agar Sabouraud, extracto de levadura, dextrosa, caldo de levadura y peptona bacteriológica (DIFCO); carbonato de calcio, alcohol etílico, fosfato de amonio, sulfato de magnesio y agar-agar (MERCK).

Reactivos químicos: Ácido cítrico, hidróxido de sodio, acetato de sodio y metabisulfito de sodio, todos de grado analítico (MERCK).

Equipos y materiales

Se empleó instrumentación de precisión que incluyó: balanza analítica (Mettler), autoclave (Precision Scientific),

espectrofotómetro (Spectronic 20), refractómetro, potenciómetro, equipos de destilación, unidades de extracción Soxhlet y determinación de nitrógeno Kjeldahl, estufa, mufla y microscopio óptico.

Aislamiento de bacterias acéticas

Se aisló la microbiota acética a partir de vinagre de vino obtenido por fermentación espontánea. Se inocularon 1 ml de muestra en 10 ml de tres medios diferenciales: Caldo glucasado con carbonato de calcio y 2% de extracto de levadura (Gamarra, 1982). Extracto de levadura glucosado y enriquecido y Extracto de levadura enriquecido con nutrientes específicos (Guasch-Torres et al., 2015). La incubación se realizó a 25°C por 24-48 horas, seleccionando el medio con mayor formación de velo superficial y aumento de acidez.

Elaboración del vinagre de tuna

El proceso se desarrolló conforme a las siguientes etapas:

Acondicionamiento del mosto: Se evaluaron niveles de pH (3.0, 3.5, 4.0 y 4.5) y concentraciones de fosfato de amonio (0.01, 0.02 y 0.03%) como nutriente, frente a un grupo control.

Fermentación alcohólica: Tras el sulfitado (50 ppm de Na₂S₂O₅), se inoculó *S. cerevisiae*. El proceso se realizó en fermentadores de 20 L a 24 °C promedio, monitoreando sólidos solubles hasta su estabilización.

Fermentación acética: Se empleó el método lento u "Orleans" en recipientes de 10 L. Se evaluaron concentraciones de acidez inicial (2.0, 2.5 y 3.0%) y la adición de nutrientes (0.1% fosfato de amonio vs. 0.1% borra de levadura). La acetificación se mantuvo a 24 °C hasta alcanzar acidez constante.

Clarificación y estabilización: Se probaron tres agentes clarificantes: bentonita (0.02, 0.05 y 0.1), mezcla tanino-gelatina (0.1:0.1, 0.2:0.1 y 0.1:0.2) y goma de tuna (1, 2 y 3%). El producto se estabilizó con sulfito (20, 30 y 40 ppm) y se envasó en botellas de color ámbar.

Análisis proximal y fisicoquímico: Las

determinaciones de humedad, fibra, cenizas, grasa, carbohidratos, acidez, pH, sólidos solubles y fósforo se rigieron bajo los métodos de la AOAC International (2023). Los azúcares se determinaron por el método de Bertrand modificado.

Caracterización del producto final: Se analizaron parámetros como grado alcohólico, acidez volátil fija y acetato de etilo siguiendo la norma técnica peruana N.T.P 209.020 del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI, 1970) y protocolos de Guasch-Torres et al. (2015).

Evaluación sensorial: Se empleó un panel semi-entrenado con una escala hedónica de 9 puntos para evaluar color, sabor, aroma y aceptabilidad. La transparencia se determinó mediante una prueba de ordenación.

Análisis estadístico

Los datos sensoriales y de ordenación se analizaron mediante la prueba no paramétrica de Friedman.

Resultados y discusión

Aislamiento de la bacteria acética

La microbiota acética obtenida por fermentación espontánea presentó una adaptación óptima en el medio de extracto de levadura alcoholizada. El crecimiento bacteriano fue evidente mediante el incremento progresivo de la acidez titulable y la formación de una biopelícula o "velo" superficial característico en el medio de cultivo.

Caracterización de la materia prima (Pulpa de tuna).

Las tunas seleccionadas presentaron un estado de madurez óptimo con un contenido de sólidos solubles de 14 °Brix, valor que concuerda con lo reportado por Mayorga-Suazo (2023). En la Tabla 1 se detalla la composición química de este fruto.

Tabla 1

Composición Química de la Tuna Variedad Morada.

Componentes	%
Humedad	85.6
Proteínas	0.7
Grasas	0.1
Fibras	0.1
Ceniza	0.3
Carbohidratos	11.7
Azúcares Reductores	7.5

El porcentaje de proteínas (0,7%) es consistente con las Tablas Peruanas de Composición de Alimentos (Reyes et al., 2017), garantizando el aporte de nitrógeno indispensable para el metabolismo de las levaduras. Por otro lado, los carbohidratos (11.7%) resultaron ligeramente inferiores a la referencia oficial, mientras que los azúcares reductores alcanzaron un 7.5%. Esta variabilidad en la composición puede atribuirse a factores como la procedencia geográfica y las prácticas culturales de cultivo. La alta concentración de azúcares y el pigmento natural (betanina) confirman que la tuna morada es una materia prima idónea para la producción de vinagre tinto sin necesidad de aditivos colorantes.

Obtención y caracterización del mosto.

El proceso de extracción reportó un rendimiento del 58%, obteniéndose un mosto de coloración rojo grosella característico. Los parámetros fisicoquímicos detallados en la Tabla 2 demuestran el potencial fermentativo del fruto.

Tabla 2

Características Físico-Químicas de la Pulpa de Tuna

Componentes	Total
Proteínas	0.8
Sólidos solubles (°Brix)	13
Ph	5.9
Densidad (gr/cc a 20°C)	1.1
Acidez (% ácido cítrico)	0.3
Azúcares totales (%)	12.5
Azúcares reductores (%)	7.2
Fósforos P ₂ O ₅ (mg)	42.5

El contenido de azúcares totales (12.5%) es suficiente para alcanzar, teóricamente, una acidez acética superior al 4%, cumpliendo así con las exigencias de la Norma Técnica Peruana N.T.P 209.020 (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual [INDECOPI], 1970). Asimismo, la presencia de fósforo (0.0425%) y nitrógeno asegura un entorno nutricional adecuado para las fases de fermentación alcohólica y acética.

Acondicionamiento del mosto

El pH es un factor crítico en la cinética fermentativa. Como se observa en la Tabla 3, se determinó que un pH de 4.0 es el valor óptimo, permitiendo una máxima producción de alcohol de 6.8 °GL. Este resultado se alinea con los rangos establecidos por Tipina-Soto (2022) para el desarrollo de *Saccharomyces cerevisiae*

Tabla 3

Influencia del pH en el grado alcohólico

pH	Grado alcohólico (°GL)
3	6.2
3.5	6.1
4	6.8
4.5	6

Respecto a la suplementación con nutrientes (Tabla 4), no se observaron incrementos significativos en la producción de alcohol tras la adición de fosfato de amonio en comparación con el grupo testigo.

Tabla 4

Grados Alcohólicos Finales a Diferentes Concentraciones de Fosfato de Amonio

Fosfato (%)	Grado alcohólico (°GL)
Testigo	6.2
0.01	6.3
0.02	6.1
0.03	5.9

Se concluye que la pulpa de tuna posee una reserva intrínseca de nitrógeno y fósforo suficiente para el metabolismo de la levadura, haciendo innecesaria la adición externa de sales amoniacales bajo las condiciones estudiadas.

Fermentación alcohólica con parámetros óptimos

Durante esta etapa, se observó un consumo acelerado de azúcares durante las primeras 72 horas, tendencia que se estabilizó a partir del tercer día (Tabla 5). El contenido de sólidos solubles descendió de 13.0 a 4.4 °Brix, alcanzando un grado alcohólico final de 6.60 °GL. Cabe destacar que la intensidad del color permaneció constante, lo que confirma la estabilidad del pigmento betanina en el rango de pH trabajado (3.95 - 4.00).

Tabla 5

Resultados de la Fermentación Alcohólica Final

Tiempo (Días)	°Brix (20°C)	pH	°GL Real
0	13	4	0
1	12	3.95	0.7
3	4.4	3.95	6.6
5	4.4	3.95	6.6

Acondicionamiento y fermentación acética

Se determinó que una acidez inicial del 3% favorece una mayor velocidad de acetificación y un rendimiento superior de ácido acético. Respecto a la suplementación nutricional, no se hallaron diferencias estadísticas significativas entre el uso de fosfato de amonio (0.1%) y borra de levadura (0.1%); sin embargo, se optó por la borra de levadura debido a que permitió alcanzar una acidez final ligeramente mayor (5.8%), resultado consistente con lo reportado por Illescas-Andrade (2021). Bajo estas condiciones óptimas, el proceso de acetificación se completó en 5 días (Tabla 6). Se observó una transformación eficiente del etanol en ácido acético, logrando una concentración final de 5.23%.

Tabla 6

Resultados de la Fermentación Acética Final

Tiempo (Días)	Ac. acético (%)	pH	°GL Real
0	3	4.5	3.45
1	3.56	4.3	3.27
3	4.69	3.8	2.58
5	5.23	3.5	1.1

Clarificación y estabilización

El análisis sensorial mediante el método de ranking (Tabla 7) determinó que, si bien no hubo diferencias estadísticas críticas entre los tres agentes evaluados, la mezcla tanino-gelatina (0.1:0.2) resultó ser la más adecuada. La goma de tuna (1%) aportó una ligera astringencia y la bentonita provocó una decoloración indeseada del producto.

Tabla 7

Puntajes Obtenidos por los Tratamientos Escogidos en el Análisis Sensorial por el Método Ranking para determinar el Tipo de Clarificante Óptimo.

Tratamiento	Puntaje
Tanino: gelatina (T.III)	13
Bentonita (T.II)	17
Goma de tuna (T.I)	12

Para la estabilización, se seleccionó una dosis de 30 mg/L de metabisulfito de sodio. Este tratamiento inhibió eficazmente el crecimiento de bacterias acéticas y mantuvo la integridad cromática durante tres meses de almacenamiento, a diferencia de la dosis de 20 mg/L que presentó pardeamiento.

Caracterización del producto final

El vinagre obtenido cumple rigurosamente con los estándares establecidos por la norma INDECOPI (1970), destacando una acidez total de 5.8% y un extracto seco de 3.3% (Tabla 8).

Tabla 8

Características Fisicoquímicas del Vinagre Tinto Obtenido a partir de la Tuna Variedad Morada

Característica Fisicoquímica	Contenido
Densidad a 20°C (g/cc)	1.021
Cenizas Totales (%)	0.27
Ph	3.8
Acidez Total (Ac. Acético) (%)	5.80
Acidez Fija (en Ac. Tartárico) (%)	0.26
Alcohol en volumen a 20°C	0.250°GL
Extracto seco a 100°C (%)	3.30
Alcalinidad de las Cenizas (%)	3.50

Finalmente, la evaluación sensorial de aceptación (Tabla 9) comparó el vinagre de tuna (V) con un vinagre comercial de referencia (T) en ensaladas. No se hallaron diferencias en color y aceptación general; no obstante, el vinagre de tuna mostró una superioridad estadística en aroma y sabor, lo que evidencia su alto potencial gastronómico.

Tabla 9

Promedios de la Prueba de Análisis Sensorial de Aceptación General del Vinagre Tinto de Tuna en Ensalada, Utilizando escala Hedónica (1 a 9).

Características	Promedios	
	T	V
Color	6.4	7.33
Aroma	6.76	6.73
Sabor	6.93	7.26
Aceptación general	7.07	6.93

Conclusiones

La tuna morada es una materia prima idónea para la producción de vinagre tinto por su alto contenido de azúcares y nutrientes, posicionándose como un sustituto viable de la uva. Los parámetros óptimos fueron: para la fermentación alcohólica, pH 4.0 sin nutrientes adicionales; y para la acética, 3% de acidez inicial con 0.1% de borra de levadura, ambos a 24 °C. La mezcla tanino-gelatina (0.1:0.2) resultó el clarificante más eficaz y 30 mg/L de metabisulfito garantizó la estabilidad. El vinagre final cumple con la Norma Técnica Peruana N.T.P 209.020 (INDECOPI, 1970), destacando por su alta calidad fisicoquímica y sensorial.

Referencias

AOAC International. (2023). Official Methods of Analysis of AOAC International (22nd ed.). G. W. Latimer, Jr. (Ed.). AOAC International. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/>

Enciso-Roca, E. C., Aguilar Felices, E. J., Común Ventura, P. W., y Tinco Jay, J. A. (2021). Actividad antiinflamatoria y antioxidante de tres variedades de *Opuntia ficus-indica* "tuna". *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(3), 207–216. <http://revistas.sqperu.org.pe/index.php/revistasqperu/article/view/348>

García-Curiel, L., Pérez-Flores, J. G., Mera-Reyes, F., Esparza-Vital, D., Pérez-Escalante, E., Contreras-López, E., & Olloqui, E. J. (2024). Potencial nutricional y terapéutico de la tuna y de sus subproductos: Un panorama general de su composición química y aplicaciones. *Biología y Sociedad*, 7(14), 26–43. <https://doi.org/10.29105/bys7.14-126>

Mejía, A. H., y Yanacallo, M. M. (2023). *Aprovechamiento de la tuna (Opuntia ficus indica Miller) para la elaboración de productos agroindustriales*. [Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/11760>

Gamarra, G. (1982, octubre). II Seminario sobre fermentaciones industriales de microbiología [Seminario]. Lima, Perú.

Guerrero-Rodríguez, J. (2018). *Diseño del proceso industrial para la obtención de vino a base de tuna (Opuntia ficus-indica) para la empresa vita tuna* [Tesis de titulación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/4c87406e-5f0f-4923-9beb-2464901a73ae/content>

Guasch-Torres, J., Busto Busto, O., Mestres Solé, M., Aceña Muñoz, L., y Capdevila Aranda, J. (2015). *Enología 2015: Innovación vitivinícola* (2.ª ed.). Universitat Rovira i Virgili. <https://l1ibres.urv.cat/index.php/purv/catalog/view/170/153/355>

Huamán, F. (2023). Compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y ácidos orgánicos de tres variedades de tuna (*Opuntia ficus-indica*) de la Comunidad Mutca - Aymaraes [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac].

Illescas-Andrade, L. (2021). *Elaboración de un vinagre a base de pomarrosa (Syzygium jambos) como una alternativa de consumo* [Tesis de titulación, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio CIA. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ILLES%20ANDRADE%20LISETTE%20ROCIO.pdf>

- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (1970). Comisión de reglamentos técnicos y comerciales. *Norma Técnica Peruana NTP 209.020:1970. Vinagre*. <https://es.scribd.com/document/351668685/62-Ntp-209-020-Vinagre>
- Mayorga-Suazo, E. (2023). *Evaluación de antioxidantes y valor nutricional de una bebida funcional de cushuro (Nostoc sphaericum) y tuna roja (Opuntia ficus-indica) edulcorada con estevia, Huancayo, 2022* [Tesis de titulación, Universidad Nacional del Centro del Perú].. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/10134/T010_71476419_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Reyes, M., Gómez, I., y Espinoza, C. (2017). Tablas peruanas de composición de alimentos (10.^a ed.). Ministerio de Salud. <https://repositorio.ins.gob.pe/bitstream/handle/20.500.14196/>
- Tipina-Soto, L. (2022). *Aplicación de normas técnicas peruanas en el control de calidad del vinagre de uva artesanal comercializado en el mercado de Ica* [Tesis de titulación, Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. <https://repositorio.unica.edu.pe/server/api/core/bitstreams/467098bc-e38b-4c04-ac10-4fb658c93ba1/content>