

PRODUCCIÓN DE VINAGRE DE MANZANA POR FERMENTACIÓN A ESCALA PILOTO

Raymundo Erazo E.*, Leoncio Reyna M., R. Robles y M.A. Huamán R.

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química
Departamento de Análisis y Diseño de Procesos
Av. Venezuela s/n – Lima Perú

Abstract: Vinegar has been elaborated from apple juice by immersed fermentation at room temperature. The process was developed in two stages, firstly, the alcoholic fermentation was carried out using *Saccharomyces Cerevisiae* yeast, *Ellipsoideus* variety. Secondly, an acetic fermentation was carried out using acetobacter. The global yield of the process, based on raw material usage was around 52%. The product obtained has an acidity of 6,8% in acetic acid and fulfill the market requirements.

Key words: Acetic fermentation, Vinegar from apple juice.

Resumen: Se ha elaborado vinagre a partir de jugo de manzana por fermentación sumergida a temperatura ambiente. El proceso se desarrollo en dos etapas, en primer lugar, se realizó la fermentación alcohólica usando una levadura *Saccharomyces Cerevisiae*, variedad *Ellipsoideus*. En segundo lugar, se desarrolló una fermentación acética con acetobacter. El rendimiento global del proceso, tomando como base la materia prima fue de 52%. El producto obtenido tiene una acidez de 6.8% expresado en ácido acético y reúne los requisitos exigidos en el mercado.

Palabras claves: Fermentación acética, vinagre de jugo de manzana.

INTRODUCCIÓN

Vinagre de manzana es el producto de la fermentación alcohólica, seguida de la fermentación acética del zumo de manzana. Conforme a las normas internacionales, contiene más de 4 gramos de ácido acético en 100 mL a 20 C.

Por fermentación, además de ácido acético, también se forman algunos ácidos grasos, como el ácido fénico y el ácido valerianico, éstos ácidos combinados con residuos de alcohol no oxidados forman éteres, estos compuestos combinados con los acetales (producto del aldeido acético y alcohol) contribuyen a dar el aroma al vinagre.

La composición promedio del vinagre de manzana se da en la **Tabla 1**, esta depende de la naturaleza de la materia prima fermentada, de las condiciones de fabricación, conservación y maduración [1]

Tabla 1: Composición del Vinagre de manzana

ANÁLISIS	RESULTADO
Alcohol (% W/V)	0,28
Acidez Total (% W/V)	4,50
Acidez Volátil (% W/V)	4,33
Sólidos (% W/V)	0,82
Ceniza (mg/mL)	1,80
Gravedad específica (g/mL)	1,02
pH	2,91

La materia prima, manzana, presenta una amplia composición de acuerdo a su variedad, destacándose su contenido de ácido L-málico y ácido cítrico en pequeñas cantidades. Los aromas de esta fruta se desarrollan durante la maduración y están constituidos por aldehidos, alcoholes, ésteres e hidrocarburos [2].

Las condiciones de fermentación son otros parámetros importantes en la calidad del vinagre. La fermentación alcohólica debe ser conducido con una levadura apropiada que aporta el complejo enzimático para la conversión de los azúcares del jugo de manzanas en alcohol etílico [3]. La fermentación acética tiene buenos resultados por el empleo de una bacteria acética y en general, las condiciones de temperatura, pH, concentración del sustrato y oxígeno disuelto son factores fundamentales en la calidad del vinagre [4,5].

El uso del vinagre es muy amplio en la industria alimentaria. Obtener un producto de alta calidad y bajo costo guardando estrictamente las normas de calidad y medio ambiente, es el objetivo de este trabajo de investigación.

* E-Mail:d160025@unmsm.edu.pe

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se desarrolló en la Planta Piloto y Laboratorios de Biotecnología, Físicoquímica y Análisis Instrumental de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Materia Prima

Manzana (*Pyrus Malus*) variedad Delicia sobremadura y de quinta categoría procedente del valle de Mala, Lima - Perú.

Equipos

- Refractómetro, ATAGO IT, 0-100 Brix
- Estufa Memmert, 0-240 C
- Xiroperas, enchaquetado 125 L
- Microscopio, Marca CARL ZEISS
- Pontenciómetro, marca RADIOMETER, Tipo pH
- Pulpeadora, velocidad 500 Kg/h
- Filtroprensa, Tipo VPB 1883, 13 Marcos y 12 Platos
- Compresor, Tipo PSU 9B DANFOSS, 12 - 7 atm.
- Bombas, Tipo Moyno CS-25-RV
- Tanques de Fermentación 200 L
- Caldera, Tipo HUSKY, marca METAL EMPRESA S.A 40 BHP
- Equipos y Materiales de Laboratorio complementarios.

Procedimiento Experimental

La elaboración de vinagre se llevó a cabo por el método de fermentación sumergida y en la **Figura 1** se muestra el diagrama de flujo correspondiente.

El proceso inicia con la selección y lavado de la fruta en tinas de acero inoxidable de 50 Kg. de capacidad. Luego se lleva a las xiroperas con sistema de agitación y enchaquetado donde se pasteuriza agregando agua en 80 a 90% del peso de fruta. Esta operación se conduce entre $98 \pm 2^\circ\text{C}$ por un tiempo de 5 minutos. El agitador de la xiropera en funcionamiento precondiciona la materia prima por trituración parcial.

La operación siguiente en el pulpeado, usándose una pulpeadora con una malla de tamiz cilíndrico de 1,5 mm en un rango de temperatura de $78 \pm 2^\circ\text{C}$, donde se logra la

separación de la pulpa de la cáscara y semillas de la fruta.

La fermentación alcohólica se desarrolla en un bioreactor anaeróbico de 200 L, a temperatura de $28 \pm 2^\circ\text{C}$ y un pH de 4,0 la fruta pulpeada es mezclado con 0.5 g de fosfato de amonio por litro de sustrato y se adiciona un inóculo de levadura activa *Saccharomyces Cerevisiae* variedad Ellipsoideus, correspondiente al 5% del volumen total de fermentación. Durante esta fase se realizan pruebas de azúcares reductores.

El mosto fermentado se filtra utilizando un filtro prensa y el efluente líquido se carga al bioreactor acético el cual tiene un dispositivo burbujeador de aire limpio, previamente filtrado en un cartucho de lana de vidrio, acondicionado en la base de este equipo [6]. Se complementa las condiciones para la fermentación acética agregando 0,1% de fosfato de amonio, inóculo de cepas activas de acetobacter equivalente al 5% de volumen total de fermentación; regulando la temperatura en $28 \pm 2^\circ\text{C}$ y una acidez inicial de 3% (pH=2, 5) expresado en porcentaje de ácido acético. Esta etapa del proceso es aeróbico y el régimen de aire burbujeado es aproximadamente de 1,5 VVM.

El vinagre obtenido es opaco debido a las partículas coloidales, por lo cual se trata con bentonita sódica, previamente hidratada por 24 horas, luego se agrega gelatina base, el cual ha sido disuelta en agua caliente, el conjunto se agita para lograr una buena homogenización y se deja por 24 horas para que sedimenta al cabo del cual se filtra. Finalmente, el vinagre clarificado es sometido a pasteurización en las Xiroperas a una temperatura de $63 \pm 2^\circ\text{C}$ por un tiempo de 25 minutos para asegurar una inactivación completa de los fermentos.

Métodos de Análisis

Los análisis fisicoquímicos diversos se realizaron según la metodología de la AOAC [7] y los análisis microbiológicos fueron ejecutados siguiendo los procedimientos de la ICMSF [8].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la Materia Prima

En la tabla 2 se presenta la composición físico-química de las manzanas. Se encontró que la concentración de azúcares totales están en un promedio de 14,1% así como un pH de 4,0, los cuales son muy importantes si se tiene en

cuenta que estos valores son los correspondientes a los requeridos para la primera fase del proceso de obtención del alcohol etílico. Los otros análisis reportados en la tabla 2 son concordantes con los resultados de otros autores [9].

Fermentación Alcohólica

En la **figura 2** se observa la variación de la concentración de azúcares totales expresados en grados brix durante la fermentación alcohólica. En la etapa de preparación del mosto a fermentar se utilizó una carga manzana: agua de 1:0,8, de modo que la concentración inicial de azúcares totales fue de 12,40 °Brix, aproximadamente. El uso de las cepas de levadura *Saccharomyces Cerevisiae*, variedad *Ellipsoideus*, aislado del vino natural obtenido en el distrito de Pacarán, Cañete - Lima, demuestra una alta actividad microbiana en las condiciones medio ambientales señalados en el procedimiento experimental. La fermentación prácticamente cesa a las 96 horas y la velocidad de consumo de azúcares totales sigue una cinética de primer orden cuya constante de velocidad de reacción es $K=0,0135 \text{ h}^{-1}$.

Las pérdidas de alcohol en la operación de filtración, equivalente al 30%, son altos debido a su atrapamiento en las partículas insolubles de la manzana, afectando el rendimiento final.

Fermentación Acética

El alcohol obtenido se acondicionó a una acidez inicial de 3% expresado como ácido acético ($\text{pH}=2,5$), esto es muy importante por cuanto se ha demostrado que hay diferencias significativas en la velocidad de acetificación con valores iniciales de acidez menor del 3%. En la **figura 3** se muestra precisamente estos resultados. El uso de la bacteria *Acetobacter* con la regulación de la solución alcohólica permitió obtener concentraciones de ácido acético hasta el 6,8% en 72 horas, considerándose este valor como muy bueno conforme a otros trabajos reportados [10]. La cinética de descomposición del alcohol etílico es de segundo orden con un valor de la constante de velocidad $K=0,0188$.

La eficiencia del proceso expresado como la relación de ácido acético producido a alcohol cargado es de 91%. Este valor concuerda con los reportados en la literatura, y se explica que la diferencia del teórico es debido en parte al consumo de una pequeña fracción de alcohol

por la bacteria, *Acetobacter* y pérdidas de alcohol y ácido acético arrastrado por el aire burbujeado en el bioreactor acético los que son transformados en aldehído acético y en ácido carbónico.

El rendimiento global del proceso, considerando un batch de 1100 Kg de manzana ó 1938 litros de mosto de manzana y 1002 litros de vinagre obtenidos a una concentración de 6,8% de ácido acético, es de 52%, valor que se considera bueno y que permite proyectar una rentabilidad adecuada.

Caracterización del Producto

En la **Tabla 3** se reportan los análisis más importantes para el vinagre y que son regulados por las instituciones competentes. Estos valores están dentro de los rangos establecidos en la **Tabla 1**, lo que permite concluir que el procedimiento de fabricación del vinagre por fermentación es factible tanto desde los puntos de vista técnico, económico y ecológico.

CONCLUSIONES

La manzana sobremadura y de quinta categoría adecuadamente preparado con la adición de sales de nitrógeno y fósforo es un buen sustrato para la producción de vinagre comercial por fermentación sumergida en dos etapas.

La fermentación alcohólica con una levadura *Saccharomyces Cerevisiae*, variedad *Ellipsoideus*, tiene altos rendimientos en condiciones de $\text{pH}=4,0$ y a temperatura de $28\pm 2\text{C}$, lo que es concordante con resultados de otros trabajos.

La fermentación acética con una buena bacteria, *Acetobacter*, se demostró que es eficiente a una concentración inicial de 3% en ácido acético, logrando una producción final de 6.8% de este mismo ácido.

La caracterización del vinagre obtenido está dentro de los rangos de normas internacionales para este producto, así como el rendimiento global del 52% nos permite proyectar una factibilidad técnica, económica y ecológica concordante con el principio de desarrollo de tecnología más limpia.

Agradecimiento

Los autores expresan su agradecimiento a las autoridades académicas y administrativas de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San

Figura 1. Diagrama de flujo de elaboración de vinagre de manzana

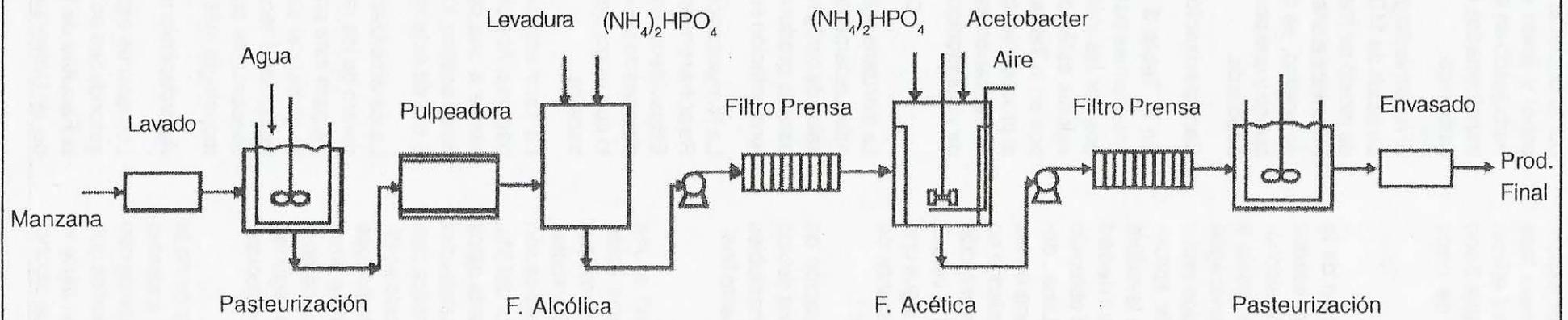


Tabla 2. Análisis fisicoquímico de la manzana

Análisis	Experimento					Promedio
	1	2	3	4	5	
Agua, %	82,3	81,8	81,2	82,8	81,5	82,1
Sólidos, %	17,7	18,2	18,8	17,2	17,5	17,9
Cenizas, %	0,23	0,243	0,264	0,212	0,256	0,24
Densidad, g/mL	1,056	1,064	1,061	1,058	1,062	1,06
pH	4,3	3,8	4,1	3,5	4,5	4,0
Azucar Total, %	13,9	14,3	13,8	14,1	14,5	14,1

Tabla 3. Análisis fisicoquímico del producto

Análisis	Experimento					Promedio
	1	2	3	4	5	
Densidad, g/mL	1,015	1,014	1,018	1,013	1,019	1,016
Cenizas Totales %	0,38	0,31	0,43	0,29	0,34	0,33
Acidez Total, gCH ₃ COOH	6,9	6,6	7,1	7,0	6,4	6,8
pH	3,9	3,1	3,2	3,6	3,7	3,5
Alcohol en Vol. a 20C	0,17	0,19	0,15	0,27	0,23	0,2

Figura 2. Variación de los grados brix durante la fermentación alcohólica

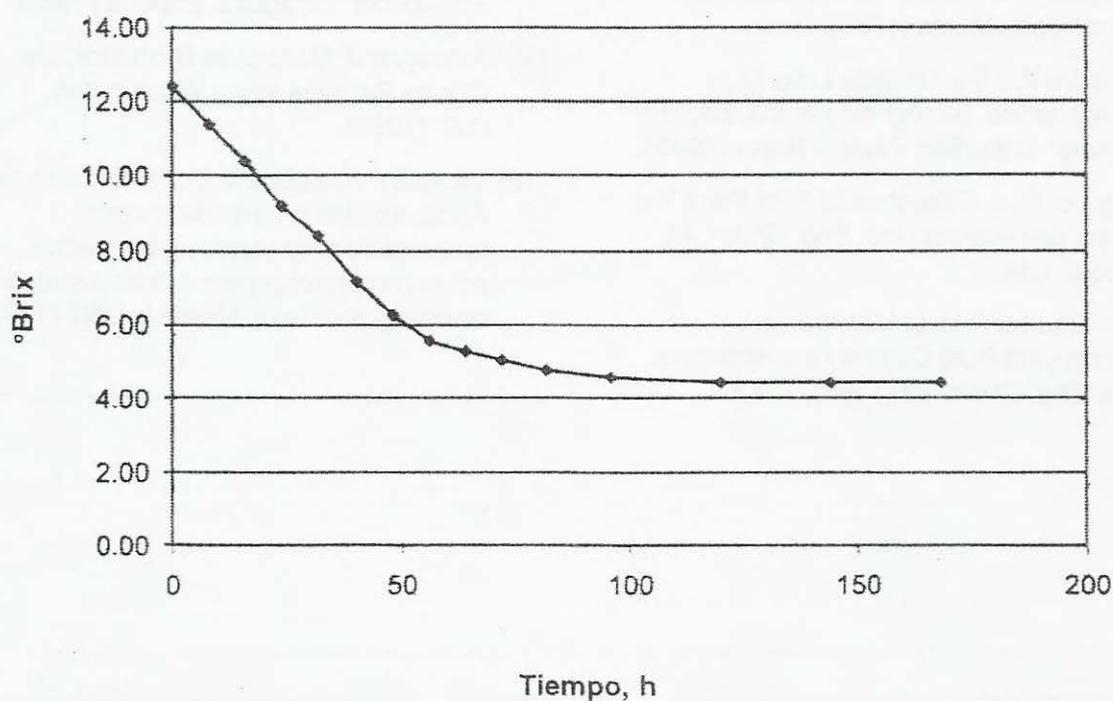
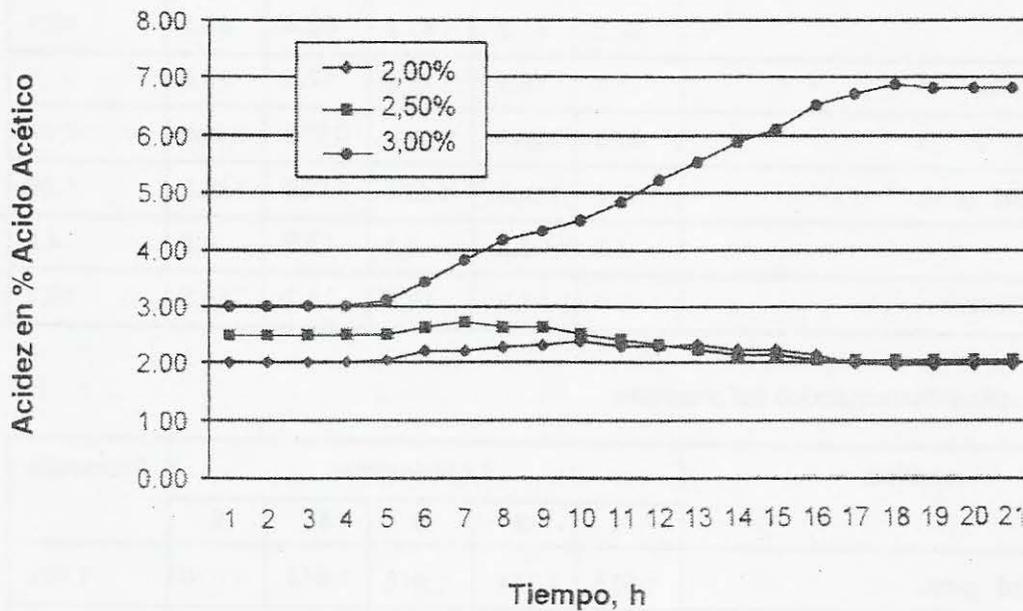


Figura 3: Efecto de la acidez inicial durante la fermentación acética



Marcos por las facilidades brindadas en sus diversos ambientes y laboratorios para la ejecución de este trabajo de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Adams M. R. Tropical Products Institute, February, UNESCO (1980).
- [2] Medina J. L. Alimentación, Equipos y Tecnología. Marzo (1996).
- [3] Borzani W., De Almeida Lima U., y E. Aquarone. Biotecnología. Ed. Edgard Blucher Ltda. Sao Paulo - Brasil (1995).
- [4] Allgeier R. J. Operation of Pilot Plant Vinegars Generators. *Ind. Eng. Chem.* **44** (1952), 669.
- [5] Deindoerfer F. H. pH Control in Sumerged Pure Culture Fermentations. *Ind. Eng. Chem.* **49** (1957), 1223.
- [6] Oldshue J. Y. Role of Turbine Impellers in Aeration of Activated Sludge **48** (1956), 2194.
- [7] A.O.A.C. Association of Official Agricultural Chemist. 14th Ed. Washington D.C. USA (1984).
- [8] Microbiological Specifications on Foods. Ed. Acribia, Zaragoza, España (1986).
- [9] Axtmayer J. Manual de Bromatología Oficina Panamericana Washington. D.C. (1982).
- [10] Vásquez Villalobos V. J. Producción de Ácido Acético a partir de melaza fermentada empleando un bioreactor columnar prototipo con cuatro sistemas de operación. Tesis Maestría UNT (1998).