

EL ORUJO DE UVA ITALIA COMO FUENTE DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y SU APROVECHAMIENTO EN LA OBTENCIÓN DE ETANOL Y COMPOST

COTACALLAPA-SUCAPUCA, M.¹; VILCA-CURO, R.¹ & COAGUILA, M.¹

RESUMEN

El orujo de la industria vitivinícola, actualmente representa un problema de gestión de residuos debido a su alta carga de contaminación; sin embargo, es fuente de elementos funcionales, etanol y compost. Se fermentó el orujo por dos veces, tras los cuales se cuantificaron por triplicado los fenólicos totales y flavonoides. El líquido obtenido en conjunto, se destilaron en sistemas diferencial y optimizó con rectificación. Posteriormente se compostó el orujo con tres réplicas, a los cuales se aplicaron microorganismos eficientes autóctonos. Los fenólicos totales son significativamente diferentes entre primera y segunda fermentación, en tanto que los flavonoides no tienen diferenciación significativa. Los parámetros de optimización para los grados alcohólicos fueron; sistema de reflujo, potencia de calefacción y caudal de flujo de agua para condensado, obteniéndose 81.47 grados alcohólicos. El tiempo de compostaje duró 21 días, menor que otros métodos. Estos resultados reflejaron, la importancia de explotación del orujo como fuente alimentario, energético y agrícola.

Palabras clave: Orujo de uva, compuestos bioactivos, etanol, compost.

ABSTRACT

The grape pomace Italia as a source of bioactive compounds and its leveraging in the obtaining of ethanol and compost.

The pomace of the wine industry currently represents a waste management problem due to its high pollution load; however, it is a source of functional elements, ethanol and compost. Pomace was fermented twice, after which total phenolics and flavonoids were quantified in triplicate. The liquid obtained together, was distilled in differential systems and optimized with rectifica-

1.- Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de Moquegua. Prolongación calle Ancash s/n, Moquegua-Perú. Teléfono 053-463514. Código postal 18001.

Email: mcotacallapas@unam.edu.pe

Manuscrito recibido el 19 de marzo de 2020 y aceptado para su publicación el 19 de mayo de 2020.

Cotacallapa-Sucapuca, M.; Vilca-Curo, R.; Coaguila, M. El orujo de uva Italia como fuente de compuestos bioactivos y su aprovechamiento en la obtención de etanol y compost.

FAVE - Ciencias Agrarias 19 (1): 17-32. CC BY-NC-SA 4.0



tion. Subsequently, the pomace was composed with three replicates, to which efficient natives microorganisms were applied. Total phenolics are significantly different between first and second fermentation, while flavonoids have no significant differentiation. Optimization parameters for alcoholic degrees were; reflux system, heating power and water flow rate for condensate, obtaining 81.47 alcoholic degrees. The composting time lasted 21 days, shorter than other methods. These results reflected the importance of pomace exploitation as a food, energy and agricultural source. *Key words: Grape pomace, bioactive compounds, ethanol, compost.*

INTRODUCCIÓN

El orujo, es el residuo sólido obtenido tras la extracción del zumo de uva y el principal subproducto del proceso de elaboración del vino (Baraybar y Monje, 2017). La vitivinicultura genera orujo por encima del 20% (Schieber *et al.*, 2001, Linares y Mendoza, 2015). La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación estima que los residuos de la industria del vino en todo el mundo superan los 20 millones de toneladas anuales, la misma que viene representando un problema sustancial de gestión de residuos debido a su alta carga de contaminación, ya que actualmente la gran mayoría de las bodegas simplemente eliminan este gran volumen de residuos y luego lo vierten o depositan en estanques, lo que constituye un costo operativo no despreciable, por lo tanto existe un potencial considerable sin explotar (Meini *et al.*, 2019, Saha *et al.*, 2020). El orujo, está conformado por pedicelo, hollejo (exocarpo y epidermis), semillas, y restos de pulpa (mesocarpo y endocarpo) (Conde *et al.*, 2007); químicamente es celulosa, hemicelulosa, lignina y cenizas (Baraybar y Monje, 2017). En la elaboración de pisco (bebida alcohólica peruana), el orujo de descarte proviene de la macera-

ción y prensado sin haber sido fermentado (Toledo, 2012), por lo que muchas bodegas reutilizan el orujo de variedades aromáticas en otra fermentación para producir aguardientes o simplemente alcohol (Baraybar y Monje, 2017). Los principales usos reales del orujo, incluyen la extracción de ácido tartárico, la producción de etanol, fertilizante y como aditivo en la alimentación animal (Meini *et al.*, 2019).

En los últimos años, los subproductos de vinificación han atraído su atención por ser fuente de compuestos bioactivos, su utilidad en las industrias cosmética, farmacéutica y alimentaria; por ejemplo, la actividad antitumoral de los polifenoles, sus efectos preventivos en varias enfermedades, condujo a la comercialización de diferentes complementos alimenticios ricos en polifenoles (Peixoto *et al.*, 2018). También es fuente de flavonoides, por su configuración de las catequinas, como el caso del orujo de la variedad Chardonnay, que tiene dos flavanoles diméricos inusuales (Schieber *et al.*, 2001). Sin embargo, es importante precisar, que los polifenoles, tienen fuerte impacto en la capacidad de fermentación, porque perturban el crecimiento y metabolismo de la levadura durante la producción de etanol, por lo que se requiere de un mejor conocimiento de los mecanismos invo-

lucrados para mejorar el manejo de las fermentaciones (Mekoue *et al.*, 2019).

El orujo, como componente de la biomasa vegetal, por la demanda energética y el desarrollo de fuentes de energías renovables (Lopretti *et al.*, 2007), es perfectamente aprovechable como biocombustible, ya que existen mecanismos de extracción o separación, previo tratamiento y fermentación de la biomasa, conocida como destilación con rectificación progresiva de la concentración del etanol (Arias, 2011) o extracción por batch invertida, en forma cíclica para promover altas tasas de flujo de producto para un fraccionamiento binario (Flodman y Timm, 2012).

Los residuos orgánicos, tratados con microorganismos producen abono de elevada calidad (Camacho, 2017), ya que desarrolla una producción biológica de calor, consiguiendo un producto estable, libre de patógenos y semillas de malas hierbas (Álvarez de la Puente, 2014). Molina (2012), menciona que, los microorganismos eficientes, están conformados por bacterias fotosintéticas o fototróficas (*Rhodospseudomonas* sp.), bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus* sp.) y levaduras (*Saccharomyces* sp.), quienes secretan sustancias beneficiosas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales quelatados y fundamentalmente sustancias antioxidantes. Cambian la micro y macroflora de los suelos mejorando el equilibrio natural, de manera que los suelos causantes de enfermedades se convierten en suelos supresores de enfermedades, y ésta se transforma a su vez en suelo azimógeno.

Los objetivos del estudio fueron; la cuantificación de fenólicos y flavonoides totales en orujo de uva-italia sometidos a dos fermentaciones, a fin de observar el efecto de la fermentación sucesiva en la

estabilidad de los fenólicos y flavonoides. La optimización en la obtención de etanol, por medio de destilación con rectificación. Finalmente, se determinó el tiempo de compostaje del orujo remanente tratados con microorganismos eficientes autóctonos y comparados con otras formas de compostaje. Este estudio de aprovechamiento de los residuos vitivinícolas, puede contribuir a la revalorización y explotación del orujo como fuente alimentaria, energética y agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de la muestra

Obtención del orujo

La uva-italia provenientes de la zona denominada “El Pacae” del valle de Moquegua - Perú, fue despalillado y estrujado en un equipo manual de acero inoxidable de fabricación A & C Ingenieros APIMA Arequipa-Perú. Seguidamente se realizó el encubado-macerados, siguiendo el flujograma de proceso de elaboración de pisco (Linares y Mendoza, 2015). Inmediatamente después, se realizó el descubado y prensado en prensa hidráulica de acero inoxidable A & C Ingenieros APIMA Arequipa-Perú (capacidad de 50 kg) a una presión aproximada de 200 bar. El orujo recuperado (piel y semillas) se destinó para fermentación.

Primera Fermentación

Se evaluaron por triplicado los grados brix en Refractómetro ABBE AR 12 Schmidt & Haensch y pH inicial con pH-metro SI Analytics HandyLab 100 del orujo. Posteriormente se mezcló en un recipiente de polietileno (capacidad 500 L) con agua potable a una relación de 1:1.5 (orujo – agua), se añadió 1.5 g de levadura seca

instantánea marca Fleischmann por cada 10 kg de orujo. La mezcla fue fermentada a temperatura promedio de 23°C durante 15 días. Concluida la fermentación, se separó y prensó el orujo. El líquido obtenido se filtró en tamiz de 6 mm de diámetro, luego se almacenó en recipientes de polietileno herméticamente cerrados. El orujo resultante se envasó en bolsas de polietileno de 1 kg y se almacenó en refrigeración.

Segunda Fermentación

Se midieron por triplicado los grados brix y pH en el orujo proveniente de primera fermentación. Se mezcló con agua potable en una relación de 1:1, se añadió 1.5 g de levadura seca instantánea por cada 10 kg de orujo y fue fermentado a temperatura promedio de 23°C por 15 días. El orujo fermentado fue prensado, envasado (bolsas de polietileno de 1 kg) y almacenadas en refrigeración. La parte líquida se envasó en recipientes de polietileno herméticamente cerrados.

Preparación del extracto

Se deshidrataron muestras de orujo de primera y segunda fermentación a 60°C por 12 h, en secador Memmert modelo UN 55, para tres extracciones cada uno; éstas se molieron y pesaron aproximadamente 50 mg en crio-tubos de 2 mL, se adicionó 1 mL de etanol al 80% v/v y se realizó la extracción en agitador vortex Wizard Advanced IR durante 1 h a temperatura ambiente. El extracto se centrifugó a 8000 rpm durante 10 min en centrífuga K EBA-20. Una parte del sobrenadante (600 µL) se mezcló con 60 µL de una solución acuosa de polivinilpirrolidona (PVPP) al 30% durante 5 min a temperatura ambiente para eliminar los compuestos fenólicos. La mezcla se centrifugó y el sobrenadante del extracto

(100 µL) se transfirió a tubos eppendorf y se almacenó a 4°C para la evaluación de fenólicos y flavonoides totales.

Compuestos fenólicos y flavonoides

Fenólicos totales

El contenido de fenólicos totales se midió por triplicado, por el método de Folin-Ciocalteu (Abderrahim *et al.*, 2011), adaptado a micro-volúmenes. La reacción se realizó mezclando 70 µL de muestra o soluciones del estándar (ácido gálico) con 70 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu (1:20 v/v), la mezcla se dejó reposar durante 2 min a temperatura ambiente. Inmediatamente después, se adicionó 140 µL de hidróxido de sodio a la mezcla y se incubó a temperatura ambiente durante 15 min. La mezcla se transfirió a micro-cubeta de plástico y la absorbancia se midió a 760 nm en espectrofotómetro UV/Vis Lambda 650 (Perkin-Elmer, USA). El contenido de fenólicos totales se expresó en mg de ácido gálico/g de muestra en base seca usando una recta de calibración de ácido gálico de 0-50 mg/L.

Flavonoides totales

El contenido de flavonoides totales del orujo se midió por triplicado, a través del método basado en el 2-aminoetil difenilborinato (2-AFB) (Abderrahim *et al.*, 2012), adaptado a micro-volúmenes. La reacción se realizó mezclando 60 µL de muestra o soluciones del estándar (ácido gálico) con 360 µL del reactivo 2-AFB (0.125% p/v), la mezcla se dejó reposar durante 2 min a temperatura ambiente. Inmediatamente después, se transfirió a una micro-cubeta de plástico y la absorbancia se midió a 405 nm en espectrofotómetro UV/Vis Lambda 650 (Perkin-Elmer, USA). El contenido de flavonoides totales se expresó en mg de

quercetina/g de muestra en base seca usando una recta de calibración de quercetina de 0-0.5 mM.

Obtención de Etanol

Destilado diferencial

El líquido de primera fermentación se destiló en un destilador diferencial de acero inoxidable de fabricación A & C Ingenieros APIMA Arequipa-Perú (capacidad 50 L por batch), dotado de calderín de corriente trifásico simple 440 Voltios, con controlador Lógico Programable PLC con interfaz HMI Marca UNITRONICS V130. La potencia energética de calentado fue de 80% y flujo de agua para condensado de 15 L/min. Los grados alcohólicos fueron medidos con un alcoholímetro, iniciando desde del primer destilado, las intermedias, hasta verificar los cero grados alcohólicos. Los destilados se envasaron en recipientes de polipropileno de 20 L. Las pruebas experimentales se realizaron por el método de destilación diferencial RAYLEIGH (Arias, 2011), controlando los tiempos y temperaturas cada 10 min hasta la ebullición y recolección desde la primera gota de destilado.

Destilación con rectificación

El destilado diferencial, fue rectificada en un destilador de rectificación por batch de fabricación A & C Ingenieros APIMA Arequipa-Perú (capacidad 50 L) de acero inoxidable con fuente de calor de 12 kW de potencia, tablero de control Lógico Programable PLC con interfaz HMI marca UNITRONICS V350, dotado de 5 etapas dentro de la columna y 1 etapa del calderín, con sistema de reflujo y condensado programable. Las pruebas experimentales se realizaron por el método de destilación con rectificación RAYLEIGH (Arias, 2011), con rela-

ción de destilación $R=L/D$ debido al reflujo (proceso cíclico), controlando el tiempo de reflujo, la potencia de uso por el calderín del destilador y el caudal de condensado a fin de optimizar los grados alcohólicos. El etanol obtenido se envasó en recipientes de plástico de 1L.

Elaboración de Compost

La obtención de agentes de microorganismos eficientes autóctonos (AMEA), se adaptó de Torres et al. (2015); para lo cual se pesó 50g de hojas frescas de vid, previamente desmenuzadas (2x2 cm) se mezcló (en bolsa de polietileno con cierre hermético) con 100 mL de agua destilada, 10% de melaza de azúcar, 5% de hígado de pollo cocinado y 5% sal de cocina. Se midió el pH de la mezcla y se fue macerado por siete días a temperatura promedio de 21°C. La formación de una capa blanquecina en la superficie de la mezcla, fue indicativo de presencia de AMEAs. Finalmente se filtró, y envasó la parte líquida en recipiente de vidrio. El líquido obtenido se mezcló en una porción de aserrín de madera como móvil de las AMEAs, para su aplicación sobre el orujo remanente.

Los tres compostadores fueron cajas de polietileno sólido de 48 por 32 cm de lado y altura de 30 cm (con aberturas de 5 por 0.7 cm en todo el contorno), interiormente acondicionado con malla de polipropileno (orificios de 1 por 1 mm). En cada uno se colocaron 4 capas de orujo de 4 cm de espesor cada uno aproximadamente, sobre cada capa se esparció AMEAs. Durante el compostaje, se controlaron tres veces la temperatura y humedad. El compost obtenido se envasó en bolsas de polietileno de 1 kg.

Análisis Estadístico

Los resultados encontrados para el estudio del contenido de fenólicos y flavonoides totales, fueron evaluados mediante la prueba de la varianza de T-student, con la primera y segunda fermentación; los análisis se realizaron por triplicado. Por otro parte, la optimización de los grados alcohólicos del etanol, fueron evaluados mediante superficie de respuesta del diseño compuesto central, con las variables en estudio en el destilador como: Reflujo (R), Potencia del calefactor (P) y Caudal de agua para condensado (C) y el software utilizado fue Design Expert versión 7. El estudio de la obtención del compost, se evaluó mediante la prueba de media de T-student, donde se investigó, si el tiempo de obtención del compost de orujo de uva y los compost de la referencia bibliográfica, son mayor o menor, que los establecidos en la norma técnica del compost. Para el análisis estadístico de fenólicos, flavonoides y compost, se utilizó el software SPSS versión 21.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Fenólicos y flavonoides totales

Fenólicos Totales

El orujo con una sola fermentación alcanzó 4.4174 mg ácido gálico/g muestra, y con segunda fermentación 8.0918 mg ácido gálico/g muestra. El análisis de varianza, y la prueba de comparación entre orujo de primera y segunda fermentación es significativo ($p \leq 0.05$), ya que los niveles de fenólicos totales no son similares entre ambas fermentaciones. Los resultados obtenidos por Zúñiga (2005) de 1.5 a 1.7 mg ácido gálico/g muestra en piel de uva Cabernet blanc de una sola fermentación, podría ser cercano al resultado de prime-

ra fermentación, asumiendo la inclusión de sus semillas. Se atribuye la concentración de fenólicos totales a la producción de enzimas (α -amilasa, glucoamilasa, entre otros) durante la fermentación incitado por el *Saccharomyces cerevisiae* (La Torre García, 2008), por lo que una alta concentración de enzimas durante la fermentación, promueve mayor contenido de fenólicos totales (Teles *et al.*, 2019). Otros autores informaron fermentaciones estudiadas con *Saccharomyces cerevisiae* en uvas y *Lactobacillus plantarum* en arándanos, demostrando el incremento de fenólicos totales, incluyendo algunos fenólicos con fuerte actividad antioxidante (Peidro, 2015, Ryu *et al.*, 2019). Los compuestos fenólicos son productos muy valiosos que quedan atrapados en el orujo de uva (responsables de las propiedades organolépticas y saludables de los vinos), tras la fermentación enológica (Meini *et al.*, 2019); sin embargo, no existe información relacionado a cuantificación de fenólicos totales en orujo de uva con dos fermentaciones sucesivas. Según Mekoue *et al.* (2019), menciona sobre la interacción de los polifenoles con las levaduras durante la fermentación, donde varios metabolitos de levadura, como el ácido pirúvico y el acetaldehído producido, reaccionan con diferentes clases de fenólicos, sobre todo los taninos tienen efecto inhibitorio en la fase inicial de la fermentación sobre la actividad enzimática, junto con una disminución en el crecimiento celular, liberación de CO_2 , consumo de azúcar y la producción de etanol. Esta afirmación puede evidenciar, que el orujo sometido a una sola fermentación no se liberan completamente los compuestos fenólicos.

Flavonoides totales

El resultado en primera fermentación alcanzó a 1.04 mg quercetina/g muestra y segunda fermentación 1.15 mg quercetina/g muestra. El análisis de varianza y la prueba de comparación entre orujo de primera y segunda fermentación, es no significativa ($p \leq 0.05$), lo que demuestra que el nivel de flavonoides totales es similar en ambas muestras. Pese a la naturaleza de la variedad de la uva italia, estos resultados están dentro de 0.03 y 4.98 mg quercetina/g muestra en orujo de uva roja tempranillo, propuestos por Librán *et al.* (2013) practicado en condiciones de 2 h de extracción en mezcla líquida de etanol a 75% a pH 2. En cambio, el referido por Putnik *et al.* (2016) alcanzó en 36.28 mg quercetina/g muestra en orujo de uva roja merlot, extraído con HCl hasta el 1% en 60 min. Esto supondría que el medio acuoso, las condiciones de proceso, la variedad de uva y la forma de obtención del orujo, son determinantes en el contenido y cuantificación de los flavonoides. Así mismo se ha informado que la fertilización foliar con compuestos de hierro como el ácido férrico de etilendiamina di (O-hidroxifenilacético) (Fe-EDDHA) aumentó las antocianinas y los flavonoles de la uva merlot (Shi *et al.*, 2018), lo que supone que el manejo íntegro de las vides está directamente relacionado en la calidad de la uva y consecuentemente los subproductos. Las muestras de orujo de uva italia, por sus características de color, no poseen antocianinas, a la luz de que los compuestos fenólicos que predicen la coloración, son los no flavonoides y los flavonoides (antocianinas, taninos condensados, monómeros de flavonoles, flavonoles, flavonoles) (Mekoue *et al.*, 2019), por ejemplo los flavonoles y flavonoles son subgrupos de flavonoides, y los flavonoles se encuentran en las partes sólidas de la baya (semilla, piel y tallo) en formas

monoméricas, oligoméricas o poliméricas; las últimas dos formas también se conocen como proantocianidinas o taninos condensados y los flavonoles están estrechamente relacionados con las antocianinas, ya que comparten una gran parte de su vía biosintética (Shi *et al.*, 2018), en este contexto, tiene lógica los resultados parecidos en ambas fermentaciones.

Obtención de Etanol

La tabla 1 muestra la producción de alcohol (PE) y las variables en estudio del destilador de rectificación por batch. Los valores de PE resultaron como máximo 88 y mínimo de 76 grados alcohólicos, para los tratamientos 9 y 15.

El análisis de varianza para el modelo ajustado, mostró que la producción de etanol fue afectada significativamente en el efecto principal R y P, y en las interacciones RP y PC; en cambio, C y RC resultaron no significativo ($p \leq 0.05$). Por otro lado, el valor predicho de R^2 fue 0.908 y el valor ajustado de R^2 0.839, y la producción de etanol en función de R, P y C se describe en la siguiente ecuación:

$$PE = 81.20 - 4.50R + 2.50P + 2C + 3.75RP + 0.25RC - 6.25PC \dots \dots \dots (1)$$

La producción optimizada prevista fue de 81.47 grados alcohólicos de etanol, cuando el reflujo, potencia del calefactor y caudal de agua para condensado fueron de 0.40, 80% y 14.74 L por minuto respectivamente; así mismo en la figura 1, se demuestra que, el máximo efecto se presenta con el mínimo reflujo, siendo independiente P, y un mínimo efecto se da con el máximo reflujo, presentando dependencia P. Por lo tanto, al disminuir el reflujo, la producción de etanol aumenta.

M. Cotacallapa-Sucapuca *et al.*

Tabla 1. Datos experimentales de destilación

Table 1. Experimental distillation data

Tratamientos	Variable Independiente			Variable dependiente
	Factor 1 Reflujo	Factor 2 Potencia (%)	Factor 3 Caudal (L/min)	Etanol (grados GL)
1	0.2	80	16	81±0.55
2	0.3	80	14	83±1.11
3	0.2	60	12	80±0.93
4	0.3	60	14	78±0.45
5	0.3	70	14	82±0.98
6	0.3	70	16	82±0.66
7	0.4	60	16	80±0.69
8	0.2	70	14	85±1.23
9	0.4	80	12	88±1.86
10	0.3	70	14	81±0.14
11	0.3	70	14	82±0.89
12	0.3	70	14	81±0.70
13	0.3	70	12	78±0.17
14	0.3	70	14	81±0.82
15	0.4	70	14	76±0.27

R: Reflujo. P: Potencia. C: Caudal. PE: Grado alcohólico de etanol

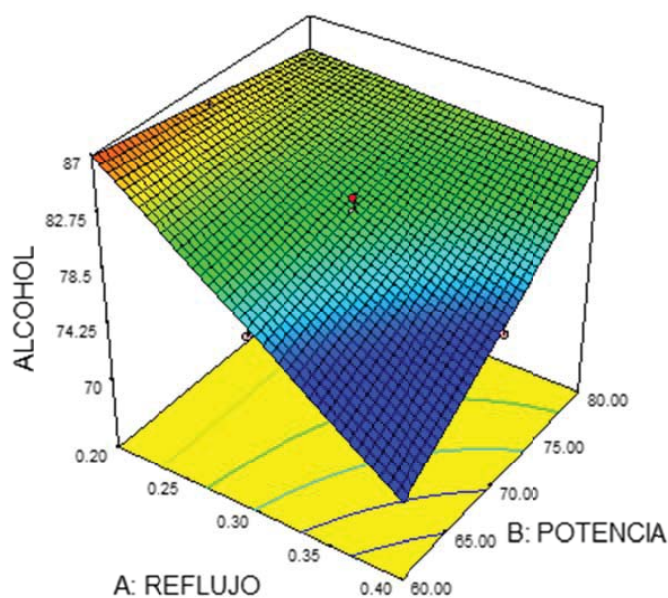


Figura 1. Dependencia de la producción de etanol sobre el reflujo, potencia)

Azabache *et al.* (2017), mencionaron que, para el aprovechamiento de la cáscara de uva deben utilizarse bases con formulación de cáscara de uva, levadura, jugo de caña de azúcar, papa y desechos celulósicos para obtener bioetanol de manera satisfactoria. Sin embargo, el equilibrio de los parámetros utilizado en la presente investigación, puede ser la variante de la cita bibliográfica mencionada. Por otro lado Flodman y Timm (2012), realizaron un sistema de rectificación por batch invertida en forma cíclica, donde el componente ligero salió como destilado, concentrando el componente pesado en el tanque de calentamiento, luego, la tasa de destilado disminuyó con el tiempo, en seguida cambiaron la columna de rectificación a modos de extracción, y el componente pesado eliminaron como producto de fondo, concentrando el componente ligero en el tanque de destilados; esto

hace que la tasa de fondos disminuya con el tiempo, y la columna se convierte nuevamente en modo de rectificación; dicha operación realizaron en una composición binaria de etanol y 1-propanol, alcanzando hasta un 96% de etanol y quedando en los fondos hasta un 36% de la misma; el fraccionamiento cesó cuando la velocidad del destilado se acercó a cero después de 170 minutos de operación. En la presente investigación si bien se obtuvo hasta 81.47 grados alcohólicos de etanol, la operación concluyó al llegar a 0% de etanol en los fondos (agua y otros componentes).

Compost de Orujo

El compostaje, inició a 13°C, ascendiendo alrededor del quinto día hasta 36°C, posteriormente descendió hasta llegar a temperatura ambiente (23 a 24°C) a los 21 días (figura 2). Al comparar el método de

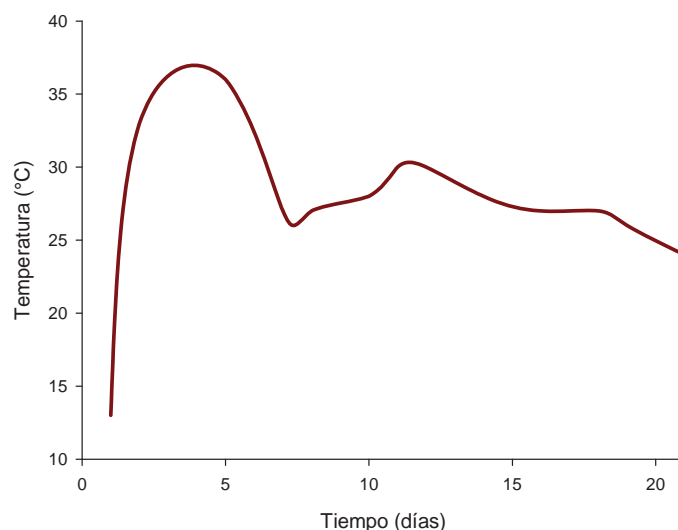


Figura 2. Temperatura del Compostaje en función del tiempo.

compostaje en función al tiempo, entre el compost de orujo de uva y los referidos por la bibliografía, mostró un menor tiempo de compostaje con características similares a la norma técnica; así mismo, al evaluar los diferentes tipos de compost con los parámetros requeridos por la norma técnica, todos resultaron diferentes ($p \leq 0.05$).

Las dos fermentaciones consecutivas y la intervención de las AMEAs, dotadas de gran cantidad de bacterias anaerobias, mohos, levaduras y ácido láctico (Torres *et al.*, 2015), facilitaron la desintegración del tejido celulósico y el compostaje respectivo. Sin embargo, Carmona *et al.* (2008), han realizado compostaje a partir de raspón de racimos, cáscara, pulpa adherida y semillas de uvas, juntas, cuyo proceso de compostaje duró hasta 6 meses. También se han com-

parado el tiempo de compostaje entre distintas materias orgánicas (figura 3 y Tabla 2). Distintos autores informaron que entre las fases de compostaje, existen temperaturas mesófilas ($<40^{\circ}\text{C}$), termófilas ($>40^{\circ}\text{C}$), donde los microorganismos de acuerdo a su adaptación térmica realizan la desintegración de las distintas partes de la materia orgánica (Álvarez de la Puente, 2014). El presente caso no ha registrado temperaturas que superen los 40°C , entendiéndose que solo se realizó la descomposición mesófila, donde se degradaron azúcares y aminoácidos al ascenso de la temperatura y degradación de polímeros, celulosas y ligninas durante el descenso de la temperatura. Sin embargo, las AMEAs desarrollaron importantes aportes de eliminación de bacterias patógenas (Torres *et al.*, 2015).

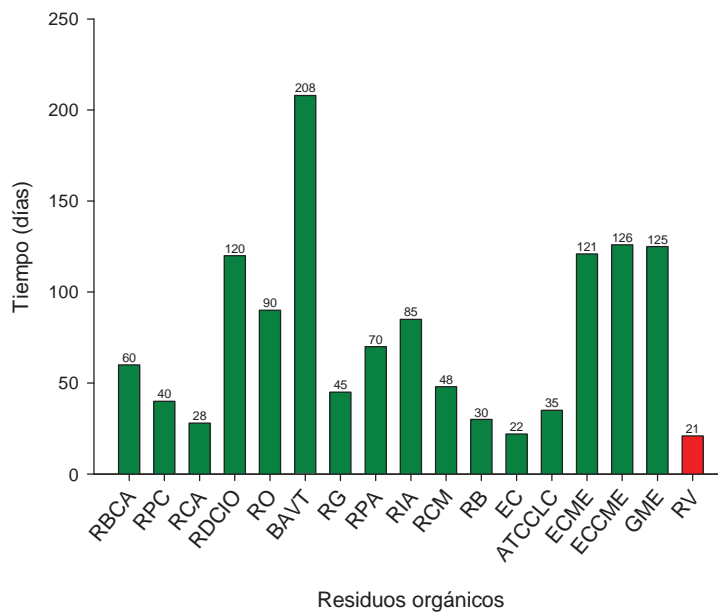


Figura 3. Tiempo de Elaboración de Compost.

Las aberturas que poseían los compostadores, facilitaron el intercambio libre de gases. En otras experiencias utilizaron cubierta de plástico transparente por distintos motivos que finalmente limitó la actividad de los microorganismos e impidió el intercambio de gases (Pinter *et al.*, 2019). Por lo tanto, el compostaje en menor tiempo, supone tener efectos positivos al no ocasionar la emisión de gases nocivos muy comunes en la elaboración de compost; aunque los tiempos de compostaje más largos tienen mayor madurez del compost, pero también promueven grandes cantidades de gases nocivos, incluidos compuestos a base de nitrógeno y azufre, ácidos grasos volátiles, hidrocarburos, trepanos, ésteres, éteres, alcoholes y aldehídos / cetonas (Zhu *et al.*, 2016). Los compuestos orgánicos volátiles promueven el calentamiento aproximadamente 2000 veces mayor que el CO₂ (Nasini *et al.*, 2016). Por lo tanto, determinar parámetros de compostaje apropiado que reduzca la producción de gases nocivos es realmente una manera de estudiar en favor de la protección ambiental.

Tabla 2. Residuos orgánicos utilizados en compostaje

Table 2. Organic waste used in composting

N°	Código	Residuos orgánicos para la elaboración de compost
1	RBCA	Bagazo de caña de azúcar
2	RPC	Residuo postcosecha de pulpa de café
3	RCA	Residuo orgánico del centro de abasto de Toluca-México
4	RDCIO	Residuos orgánicos de domicilio, camales, industrias y otros
5	RO	Desechos orgánicos en general
6	BAVT	Bagazo de agave y vinazas tequileras
7	RG	Residuo de gallinaza de jaula con material celulósico
8	RPA	Racimos de fruta de palma de aceite
9	RIA	Residuo de la industria avícola
10	RCM	Residuos de camal municipal de Huaraz-Perú
11	RB	Residuos de brócoli
12	EC	Estiércol de cerdo
13	ATCCLC	Poda de árboles urbanos, tripas de salchichas, carbón, desecho de criaderos, lodos flotantes y ceniza.
14	ECME	Estiércol de cuy más microorganismos eficientes
15	ECCME	Estiércol de cuy con cascarilla de arroz más microorganismos eficientes
16	GME	Gallinaza más microorganismos eficientes
17	RV	Residuo de orujo de uva italiana

Fuente: RBCA (López *et al.*, 2017), RPC (Vásquez de Díaz *et al.*, 2010), RCA (Ballesteros *et al.*, 2018), RDCIO (Andrade, 2016), RO (Naranjo, 2013), BAVT (Iñiguez *et al.*, 2005), RG (Hoyos *et al.*, 2010), RPA (Corzo, 2013), RIA (Riera, 2009), RCM (Camacho, 2017), RB (Espinosa, 2011), EC (Zhu *et al.*, 2016), ATCCLC (Chiarelotto *et al.*, 2019), ECME - ECCME - GME (Zambonino, 2013) y RV (caso de estudio).

El compost obtenido resultó con 64.66% de materia orgánica, 6.80 de pH, 6.32 mmho/cm de conductividad eléctrica, 2.66% nitrógeno total, 1.30% fósforo total y 1.97% potasio total (tabla 3). El porcentaje de materia orgánica es superior a lo citado por Zambonino (2013) quien obtuvo 39.43%, y la Comisión Nacional de Medio Ambiente de Chile (CNMA, 2000) menciona que el contenido de materia orgánica para todos los tipos de compost debe ser mayor o igual a 25%.

De acuerdo a la clasificación de la tabla 3, el compost obtenido corresponde al tipo inmaduro; los valores de fósforo y potasio son relativamente mayores, en conductividad eléctrica le corresponde clase B y el pH se muestra dentro del intervalo sugerido.

CONCLUSIONES

Esta investigación, cuantificó los fenólicos y flavonoides totales, en el orujo con una y dos fermentaciones. Los resultados obtenidos indicaron que existe presencia de compuestos bioactivos aun en el orujo dos veces fermentado. Los parámetros de optimización para la obtención de etanol a través de destilación por rectificación, permitió maximizar los grados alcohólicos hasta 81.47% de etanol. La aplicación de AMEAs sobre el orujo dos veces fermentado, permitió controlar el medio biológico, facilitó completar la descomposición y compostó en 21 días. Este modo de compostar puede considerarse interesante puesto que la emanación de gases durante el compostaje sería mucho menor en compara-

Tabla 3. Composición química, conductividad eléctrica y pH del compost

Table 3. Chemical composition, electrical conductivity and pH of the compost

Nitrógeno (%)	Fosforo (%)	Potasio (%)	Conductividad eléctrica (mmho/cm)	pH
0,3 - 1,5*	0,1 - 1,0*	0,3 - 1,0*	< 5,0**	4,5 - 8,5*
(compost maduro)			(compost clase A)	
2,5 - 3,0*			5,0 - 12**	
(compost inmaduro)			(compost clase B)	
0,79 - 3,03***				
Resultados de Estudio				
2,66	1,3	1,79	6,32	6,8

* (Román *et al.*, 2013)

** (CNMA, 2000)

*** (Zambonino, 2013)

ción con otras formas de compostajes. Este estudio, incentiva, motiva y concientiza que, los descartes orgánicos de la industria vitivinícola son relativamente revalorables y explotables, ya sea por su predisposición alimentaria, energética o agrícola.

AGRADECIMIENTO

Se agradece a la Vicepresidencia de Investigación de la Universidad Nacional de Moquegua, por el financiamiento e implementación del laboratorio de Ingeniería de Procesos en las instalaciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIA), donde se realizaron las experiencias analíticas del presente estudio. Al Dr. Luis A. Condezo Hoyos, por su orientación en la caracterización funcional del orujo de uvas.

REFERENCIAS

- 1.- ABDERRAHIM, F., ESTRELLA, S., SUSÍN, C., ARRIBAS, S. M., CARMEN GONZÁLEZ, M. C. & CONDEZO-HOYOS, L. 2011. The Antioxidant Activity and Thermal Stability of Lemon Verbena (*Aloysia triphylla*) Infusion. *Journal of Medicinal Food*, 14, 517-527.
- 2.- ABDERRAHIM, F., HUANATICO, E., REPO-CARRASCO-VALENCIA, R., ARRIBAS, S. M., GONZÁLEZ, M. C. & CONDEZO-HOYOS, L. 2012. Effect of germination on total phenolic compounds, total antioxidant capacity, Maillard reaction products and oxidative stress markers in cañihua (*Chenopodium pallidicaule*). *Journal of Cereal Science*, 56, 8.
- 3.- ÁLVAREZ DE LA PUENTE, J. M. 2014. Manual de Compostaje para Agricultura Ecológica. Andalucía-España: Junta de Andalucía, Consejería de agricultura y pesca.
- 4.- ANDRADE, S. M. 2016. Elaboración de Compost a partir de Desechos Orgánicos con el Uso de Bacterias Ácido - Lácticas y *Trichoderma* spp. en la ciudad de Ibarra. Ingeniera en Biotecnología, Universidad de las Américas.
- 5.- ARIAS, A. 2011. Fundamentos y Aplicaciones de Transferencia de Masa, Biblioteca Nacional del Perú, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga - Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia.
- 6.- AZABACHE, M., DOMÍNGUEZ, E., LIBERATO, C. & YANQUE, J. 2017. Producción de Bioetanol a Nivel Banco Usando Insumos Nacionales: Caña de Azúcar y Levadura de Uva Quebranta. *Revista Científica TECNIA*, 22, 69.
- 7.- BALLESTEROS, M., HERNÁNDEZ BERRIEL, M. D. C., GÓMEZ, I. D. L. R., MAÑÓN SALAS, M. D. C. & CARRERÑO DE LEÓN, M. D. C. 2018. Crecimiento Microbiano en Pilas de Compostaje de Residuos Orgánicos y Biosólidos Después de la Aireación. *Revista Centro Azúcar*, 10.
- 8.- BARAYBAR, A. L. & MONJE, C. R. 2017. Obtención de Celulasas de *Trichoderma* sp. a partir de Orujo de Uva para Producir Bioetanol Usando Hojas de Mazorca de Maíz. Tesis, Universidad Católica de Santa María.
- 9.- CAMACHO, M. S. 2017. Compostaje de Subproductos Derivados del Sacrificio y Faenado de Ganado del Camal Municipal de Huaraz, Utilizando, Diferentes Sustratos. Tesis, Universidad Nacional de Santiago Antúnez de Mayolo.

- 10.- **CARMONA, E., MORENO, M. T., PAJUELO, P. & ORDOVÁS, J.** 2008. Compostaje de orujos de vid para su empleo como sustrato hortícola. In: Sevilla, U. D. (ed.) *Idus - Depósito de investigación Universidad de Sevilla*.
- 11.- **CHIARELOTTO, M., DAMACENO, F. M., LORIN, H. E. F., TONIAL, L. M. S., DE MENDONCA COSTA, L. A., BUSTAMANTE, M. A., MORAL, R., MARHUENDA-EGEA, F. C. & COSTA, M.** 2019. Reducing the composting time of broiler agro-industrial wastes: The effect of process monitoring parameters and agronomic quality. *Waste Manag*, 96, 11.
- 12.- **CNMA, C. N. D. M. A.** 2000. Norma de Calidad de Compost. In: Departamento De Descontaminación, P. Y. N. (ed.). Gobierno Regional Región Metropolitana “Informe Propuesta de Política Regional de Residuos Sólidos Región Metropolitana, Marzo 1999”.
- 13.- **CONDE, C., SILVA, P., FONTES, N., DÍAS, A. C. P., TAVARES, R. M., SOUSA, M. J., AGASSE, A., DELROT, S. & GERÓS, H.** 2007. Biochemical Changes throughout Grape Berry Development and Fruit and Wine Quality. *Global Science Books*, 1, 22.
- 14.- **CORZO, J. M.** 2013. Compostaje con racimos de fruta de palma de aceite para la venta de Certificados de Reducción de Emisiones (CER). *Palmas*, 34, 13.
- 15.- **ESPINOSA, K. E.** 2011. Elaboración de un Abono Orgánico a Base de Desechos del Procesamiento del Brócoli (*Brassica oleracea itálica*), para Disminuir la Dependencia de Productos Químicos Artificiales. Ingeniero Bioquímica, Universidad Técnica de Ambato.
- 16.- **FLODMAN, H. R. & TIMM, D. C.** 2012. Batch distillation employing cyclic rectification and stripping operations. *ISA Trans*, 51, 7.
- 17.- **HOYOS, J. L., VARGAS, C. A. & VELASCO, R. J.** 2010. Evaluación de Compost Obtenido en Pila Móvil Empleando Mezclas de Gallinaza de Jaula con Material Celulósico. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, B, 7.
- 18.- **IÑIGUEZ, G., ACOSTA, N., MARTÍNEZ, L., PARRA, J. & GONZÁLEZ, O.** 2005. Utilización de Subproductos de la Industria Tequilera. Parte 7. Compostaje de Bagazo de Agave y Vinazas Tequileras. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 21, 14.
- 19.- **LA TORRE GARCÍA, L.** 2008. Análisis estructural y modificación funcional de la glucoamilasa de *saccharomices cerevisiae* var. *diastaticus*. Universidad de Valencia.
- 20.- **LIBRÁN, C., MAYOR, L., M. GARCÍA-CASTELLO, E. & VIDAL-BROTTONS, D.** 2013. Polyphenol extraction from grape wastes: Solvent and pH effect. *Agricultural Sciences*, 04, 7.
- 21.- **LINARES, E. & MENDOZA, K.** 2015. Diseño de una Bodega Vitivinícola Pisquera en el Valle de Ica Utilizando Acondicionamiento Ambiental Pasivo. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 24.
- 22.- **LÓPEZ, E., ANDRADE RIVERA, A. J., HERRERA SUÁREZ, M., GONZÁLEZ CUETO, O. & GARCÍA DE LA FIGAL COSTALES, A.** 2017. Propiedades de un compost obtenido a partir de residuos de la producción de azúcar de caña. *Centro Agrícola*, 44, 49-55.
- 23.- **LOPRETTI, M., LÓPEZ, A., REY, F., OTTATI, C. & DAMBORIARENA, A.** 2007. Implementación de una línea de evaluación para subproductos agroindustriales como sustrato para la producción de Bioetanol. Presacarificación - sacarificación / fermentación simultánea. *Laboratorio Tecnológico del Uruguay*, 4.

- 24.- **MEINI, M. R., CABEZUDO, I., BOSCHETTI, C. E. & ROMANINI, D.** 2019. Recovery of phenolic antioxidants from Syrah grape pomace through the optimization of an enzymatic extraction process. *Food Chem*, 283, 8.
- 25.- **MEKOUÉ, J., VERNHET, A., JULIEN-ORTIZ, A., SIECZKOWSKI, N. & MOURET, J. R.** 2019. Effect of grape must polyphenols on yeast metabolism during alcoholic fermentation. *Food Res Int*, 121, 15.
- 26.- **MOLINA, J. A.** 2012. Microorganismos Eficientes Autóctonos (EMAs) en la Productividad del Cuy. Universidad Técnica de Ambato.
- 27.- **NARANJO, E. I.** 2013. Aplicación de Microorganismos para Acelerar la Transformación de Desechos Orgánicos en Compost. Universidad Técnica de Ambato.
- 28.- **NASINI, L., DE LUCA, G., RICCI, A., ORTOLANI, F., CASELLI, A., MASSACCESI, L., REGNI, L., GIGLIOTTI, G. & PROIETTI, P.** 2016. Gas emissions during olive mill waste composting under static pile conditions. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 107, 70-76.
- 29.- **PEIDRO, M. J.** 2015. Estudio de la Composición de Vinos de Tempranillo y Cabernet Sauvignon Fermentados y Conservados en Hormigón, Acero Inoxidable y Barricas. Universidad Politécnica de Valencia - Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural.
- 30.- **PEIXOTO, C. M., DÍAS, M. I., ALVES, M. J., CALHELHA, R. C., BARROS, L., PINHO, S. P. & FERREIRA, I.** 2018. Grape pomace as a source of phenolic compounds and diverse bioactive properties. *Food Chem*, 253, 132-138.
- 31.- **PINTER, I. F., FERNÁNDEZ, A. S., MARTÍNEZ, L. E., RIERA, N., FERNÁNDEZ, M., AGUADO, G. D. & ULIARTE, E. M.** 2019. Exhausted grape marc and organic residues composting with polyethylene cover: Process and quality evaluation as plant substrate. *J Environ Manage*, 246, 695-705.
- 32.- **PUTNIK, P., BURSAĆ KOVAČEVIĆ, D., RADOJCIN, M. & VERICA, D.-U.** 2016. Influence of Acidity and Extraction Time on the Recovery of Flavonoids from Grape Skin Pomace Optimized by Response Surface Methodology. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 30, 455-464.
- 33.- **RIERA, N.** 2009. Evaluación del Proceso de Compostaje de Residuos Avícolas. Universidad de Morón, Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias.
- 34.- **RYU, J. Y., KANG, H. R. & CHO, S. K.** 2019. Changes Over the Fermentation Period in Phenolic Compounds and Antioxidant and Anticancer Activities of Blueberries Fermented by *Lactobacillus plantarum*. *J Food Sci*, 84, 2347-2356.
- 35.- **SAHA, M., GITTO, G. & DALLY, B. B.** 2020. Burning characteristics of grape marc under mild combustion conditions. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 114, 110059.
- 36.- **SCHIEBER, A., STINTZING, F. C. & CARLE, R.** 2001. By-products of plant food processing as a source of functional compounds - recent developments. *Food Science & Technology*, 12, 401-413.
- 37.- **SHI, P., SONG, C., CHEN, H., DUAN, B., ZHANG, Z. & MENG, J.** 2018. Foliar applications of iron promote flavonoids accumulation in grape berry of *Vitis vinifera* cv. Merlot grown in the iron deficiency soil. *Food Chem*, 253, 164-170.

M. Cotacallapa-Sucapuca *et al.*

- 38.- TELES, A. S. C., CHAVEZ, D. W. H., OLIVEIRA, R. A., BON, E. P. S., TERZI, S. C., SOUZA, E. F., GOTTSCHALK, L. M. F. & TONON, R. V. 2019. Use of grape pomace for the production of hydrolytic enzymes by solid-state fermentation and recovery of its bioactive compounds. *Food Res Int*, 120, 441-448.
- 39.- TOLEDO, V. H. J. 2012. Evolución de los Componentes Volátiles del Pisco Puro Quebranta (*Vitis vinifera* L. var. Quebranta) Obtenido de la Destilación en Falca y Alambique a Diferentes Condiciones de Aireación Durante la Etapa de Reposo. Tesis, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- 40.- TORRES, A., QUIPUZCO, L. & MEZA, V. 2015. Influencia De La Fermentación Láctica (Abono Bokashi) En El Pre-Compost Para La Producción De Biogás Y Biol En Biodigestores Tipo Batch. *Anales Científicos*, 76, 269.
- 41.- VÁSQUEZ DE DÍAZ, M. C., LÓPEZ, A., FUENTES, B. & COTE, E. 2010. Aceleración del proceso de compostaje de residuos post-cosecha (pulpa) del café con la aplicación de microorganismos nativos. *CENIC Ciencias Biológicas*, 1-7.
- 42.- ZAMBONINO, M. A. 2013. Compostaje de Tres Tipos de Materia Orgánica con la Aplicación de Microorganismos (Ácido láctico, levaduras y actinomicetos) en el Cantón Salcedo., Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- 43.- ZHU, F., PAN, Z., HONG, C., WANG, W., CHEN, X., XUE, Z. & YAO, Y. 2016. Analysis of volatile organic compounds in compost samples: A potential tool to determine appropriate composting time. *Waste Manag*, 58, 98-106.
- 44.- ZÚÑIGA, M. C. 2005. Caracterización de Fibra Dietaria en Orujo y Capacidad Antioxidante en Vino, Hollejo y Semilla de Uva., Universidad de Chile.