

**PROCESO DE REVALORIZACIÓN DE BIOMASA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA VITIVINÍCOLA. MODELADO MATEMÁTICO Y OPTIMIZACIÓN.**

Asad, R., Bonfigli, M., Arias, A., Mores, P., Scenna, N.  
[rocoasad@gmail.com](mailto:rocoasad@gmail.com); [mbonfigli@frro.utn.edu.ar](mailto:mbonfigli@frro.utn.edu.ar)

CAIMI (E. Zeballos 1346, Rosario), Facultad Regional Rosario, UTN

**INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS, E HIPÓTESIS**

El orujo de uva es generado durante el proceso de vinificación como el principal residuo sólido obtenido luego de la fermentación y la maceración. Dado que aproximadamente el 20% del peso de las uvas procesadas resulta en orujo, la industria del vino produce miles de toneladas de este deshecho, lo que representa desde el punto de vista ecológico y económico un importante problema de gestión de residuos.

Tradicionalmente el orujo producido se destina en mayor medida a alimento para ganado y/o fertilizante. Es un subproducto de bajo valor que contiene una cantidad significativa de componentes valiosos que podrían ser utilizados para ingredientes alimenticios, químicos y biocombustibles.

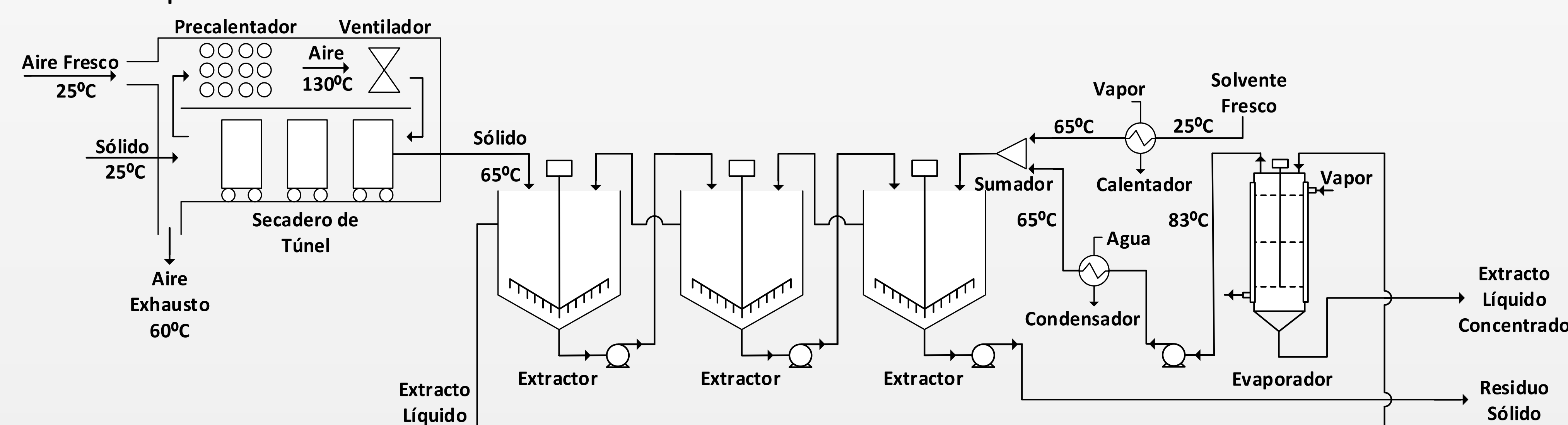
Una forma de ampliar el árbol de productos derivados es la exploración de nuevos procesos productivos que en el marco de la "economía circular" transformen los llamados residuos en materias primas, un concepto central en la bioeconomía.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es formular un proceso capaz de extraer polifenoles a partir de orujos tintos, con el fin de aportarle un nuevo valor a lo que, hasta ahora, es considerado un residuo. También se busca optimizar, como variable de interés, el rendimiento total de extracción a partir de la definición de una función objetivo, logrando así que el proceso sea eficientemente viable desde el punto de vista económico.

Se asume que se dispone de un volumen total máximo de 10 m<sup>3</sup> para los tres tanques y que cada tanque puede operar con un máximo del 75% de su capacidad. Por otro lado, la concentración final de sólidos solubles en el extracto líquido debe encontrarse entre 20 y 40%.

**METODOLOGÍA**

**Diseño del proceso**



**Análisis y Modelo Matemático**

En primera instancia, se realizó la interpretación y análisis de resultados de dos modelos independientes desarrollados previamente en el centro de investigación. Bonfigli (2020) implementó un modelo de un secadero de túnel en contracorriente cuyo objetivo es reducir el porcentaje de humedad del orujo de un 73,5% a un 7,5%, mientras que Bahr et al (2019) desarrollaron un modelo de una configuración típica del proceso de extracción por solvente (etanol-agua 50% v/v) de biocompuestos a partir de orujos tintos, con un sistema de recuperación y recirculación del solvente mediante el uso de un evaporador, un condensador, un calentador y un mezclador.

En función de unificación de nombres de variables, conversión de unidades, y estrategias de inicialización y escalado, se realizó un modelo matemático NLP (non linear programming) que representa el acople entre ambos modelos. A partir de la discretización de ecuaciones diferenciales parciales, se obtuvo un conjunto de ecuaciones algebraicas lineales y no lineales, que derivó en un modelo, el cual se implementó en el software GAMS. El mismo cuenta con 327 variables y 433 restricciones (igualdad y desigualdad). Finalmente, se optimizó (maximizó) el rendimiento total del proceso para dos corrientes de entrada de orujo distintas, Caso1: 450 kg/h y Caso2: 1170 kg/h utilizando CONOPT como resolvidor.

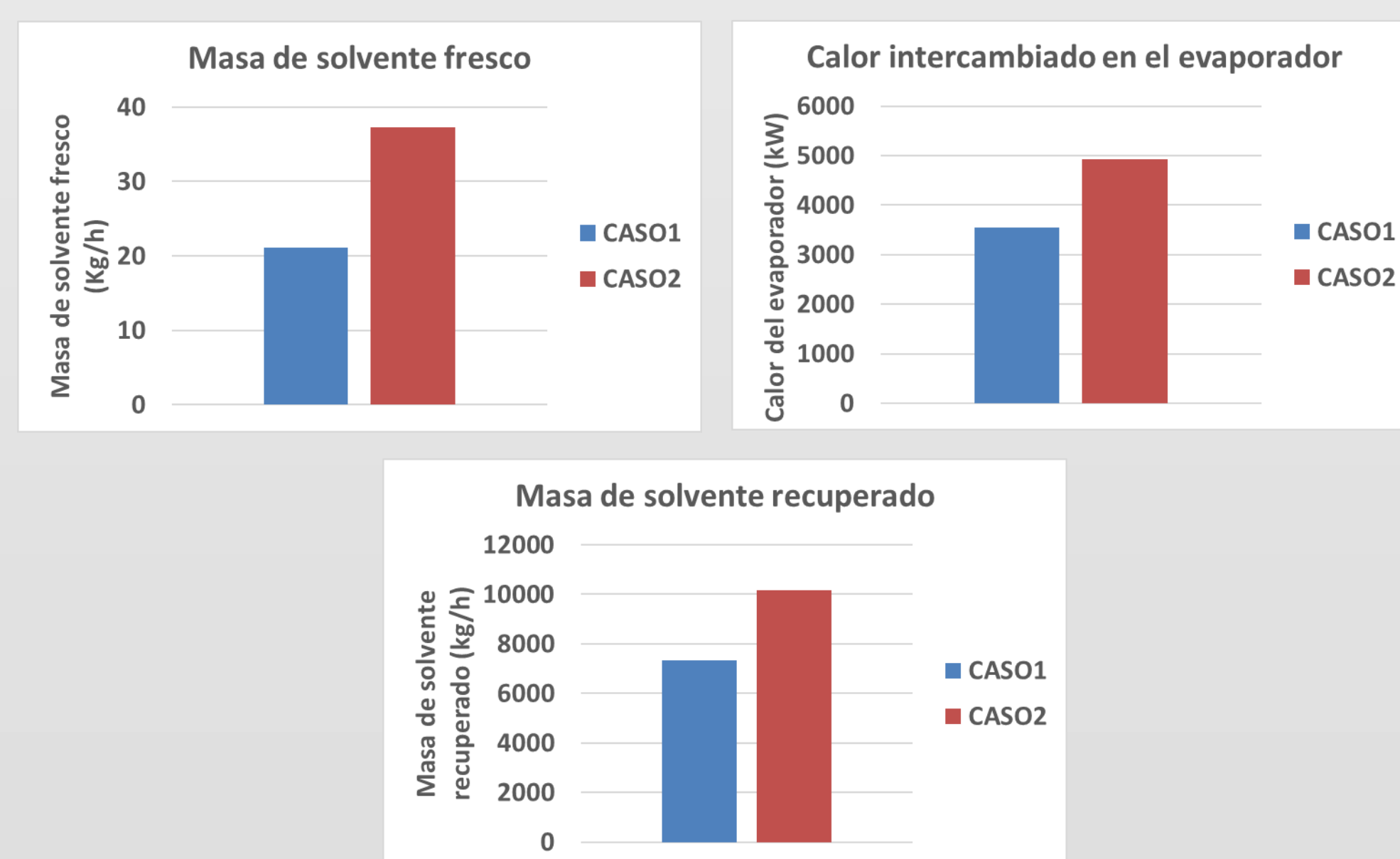
Composición del material a secar $X_{i,mat,prec}$ (%)		Parámetros de diseño	
Proteínas (P)	3,4	Separación entre bandejas	0,05 m
Lípidos (L)	2,2	Lado bandeja	0,75 m
Cenizas (C)	2,4	Altura bandeja	0,02 m
Fibras (F)	13,7	Carretillas en paralelo	2
Agua (a)	73,5	Carretillas por hilera	6

Aire		
Descripción	Parámetro	Valor
Humedad relativa a la entrada	HR <sub>aire,e</sub> (%)	2,5
Humedad relativa del aire nuevo	HR <sub>aire,n</sub> (%)	55
Caudal máxico máximo	G <sub>aire,max</sub> (Kg/hm <sup>2</sup> )	9000

Parámetros cinéticos		Otros parámetros	
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
$d_{a,\beta}$	$9,784 \times 10^{-12}$ m <sup>2</sup> /s	r	$1,300 \times 10^{-4}$ m
$d_{a,\gamma}$	$9,016 \times 10^{-10}$ m <sup>2</sup> /s	$c_{a0,\beta}$	10,71 kg/m <sup>3</sup>
$k_{a,\gamma}$	$6,332 \times 10^{-4}$ m/s	$\epsilon_{\gamma,Ei}$	0,95
k	0,618		

**RESULTADOS**

	CASO1: 450 kg/h	CASO2: 1170 kg/h	Diferencia (%)
Vop, E1 (m <sup>3</sup> )	2,46	2,42	-1,6
Vop, E2 (m <sup>3</sup> )	2,52	2,53	0,5
Vop, E3 (m <sup>3</sup> )	2,52	2,55	1,0
Vop, T (m <sup>3</sup> )	7,50	7,50	0,0
$\theta_{\gamma,E1}$ (s)	1032,22	733,34	-29,0
$\theta_{\gamma,E2}$ (s)	157,77	767,51	-27,4
$\theta_{\gamma,E3}$ (s)	1059,61	772,17	-27,1
$\theta_{\gamma,T}$ (s)	3149,60	2273,02	-27,8
YE1 (-)	92,19	83,47	-9,5
YE2 (-)	92,72	84,98	-8,34
YE3 (-)	93,12	86,50	-7,1
YTOTAL (-)	99,96	99,67	-0,3
M <sub>y,E3</sub> (Kg/h)	7373,48	10217,02	38,6
Q <sub>y,E3</sub> (E5 m <sup>3</sup> /h)	814389	1128454	38,6
M <sub>y,OC</sub> (Kg/h)	21,06	37,32	77,2
Hevap (kW)	3552,63	4949,19	38,5
M <sub>y,evap</sub> (Kg/h)	7352,43	10179,70	38,5



El rendimiento óptimo total del proceso fue superior al 99% en ambos casos, siendo ligeramente superior para el Caso1. Por otra parte, si bien el volumen operativo de los extractores es similar, el tiempo de residencia óptimo en el Caso 2 es alrededor de 27% menor que en el Caso 1 mientras que el consumo de solvente fresco y la energía requerida para su recuperación son mayores (77% y 38%, respectivamente).

Por otro lado, a mayor ingreso de orujo el volumen operativo de los tanques E2 y E3 aumenta, mientras que el del E1 disminuye. Este comportamiento se atribuye a la hipótesis establecida de que el volumen total de los tanques no debe superar los 10 m<sup>3</sup> y el 75% de su capacidad, de manera que los volúmenes operativos individuales compensan sus tamaños para cumplir con dicha restricción en un escenario de máxima recuperación.

**CONCLUSIONES**

El presente trabajo tuvo como objetivo, analizar, modelar y optimizar un proceso de secado de orujo y extracción de polifenoles del mismo, con el fin de revalorizar un residuo de la industria vitivinícola. El modelo matemático planteado ha permitido realizar el análisis de distintas variables, y conseguido maximizar el rendimiento global del proceso, hasta un 99,96%. También, se ha podido identificar, en las tendencias presentadas en los volúmenes efectivos de operación de los tanques individuales, la influencia de las restricciones implementadas en dicha variable. En trabajos futuros, se estudiará la influencia de otras variables de proceso y diseño, y se le dará más grados de libertad al modelo. Se buscará liberar las variables de temperatura, cantidad de tanques, y volumen máximo de tanque, trabajar con diversos valores de humedad, y comparar una mayor cantidad de ingresos diferentes, con el fin de analizar con mayor precisión las tendencias presentadas, y lograr un modelo más adecuado. Finalmente, se puede afirmar que el modelo ha resultado satisfactorio, y permite continuar con el desarrollo y análisis del mismo dentro del marco de la economía circular, ampliando el árbol de productos derivados de la industria vitivinícola.