

Parámetros energéticos en la producción sostenible de taninos de *Caesalpinia spinosa kuntze* (Tara)

Parameters energy in the industrial production of tannins of *Caesalpinia spinosa kuntze* (Tara)

Segundo Seijas^{1,*}; Priscilla Seijas²; Nadia Seijas³; Ludwig Salgado⁴; Carlos Esquivel⁵; José Luis Gonzalez⁶

¹Facultad de Ingeniería, Ingeniería Industrial. Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II S/N Trujillo – Perú.

²Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II S/N Trujillo - Perú. pseijas@unitru.edu.pe

³Escuela Académica Profesional de Enfermería, Universidad Cesar Vallejo. nadiastefania9@hotmail.com

⁴Escuela de Posgrado, Maestría en Ciencias Económicas. ludblue@yahoo.es

⁵Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial. cesquivel@unitru.edu.pe

⁶Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial. jgonzalez@unitru.edu.pe

* Autor correspondiente: sseijas@unitru.edu.pe (S. Seijas)

DOI: 10.17268/rev.cyt.2022.01.14

RESUMEN

Para la producción de taninos a partir de la *Caesalpinia spinosa* se determinaron los valores óptimos: Relación materia prima/extractante: 1:3; tiempo de extracción de 45 min y una temperatura de lixiviación de 70°C; evaluándose la concentración de taninos mediante el método de permanganato modificado. La optimización de los parámetros se efectuó mediante el Diseño Placket & Burman. El proceso consiste en extracción, concentración al vacío, clarificación para el precipitado de mucilagos empleando etanol de 95°GL; recuperándose el alcohol mediante destilación; el secado por atomización se efectuó por lotes de a temperatura de 145°C, obteniéndose una concentración de taninos de 0,840 mg/mL, con un rendimiento promedio de producto seco de 10,42% en base a la materia prima en vaina. La biomasa resultante se procedió a un secado, pelletizado y densificado para emplearlo como combustible en caldera de parrilla estacionaria determinándose un índice de generación de vapor saturado de 5,260 ton de vapor/ton de biomasa seca con 10% de humedad.

Palabras clave: Producción sostenible; Taninos; *Caesalpinia spinosa*, extracción; Parámetros energéticos.

ABSTRACT

For the production of tannins from *Caesalpinia spinosa*, the optimal values were determined: Raw material / extractant ratio: 1: 3; extraction time of 45 min and a leaching temperature of 70°C; the tannin concentration being evaluated by the modified permanganate method. The optimization of the parameters was carried out using the Placket & Burman Design. The process consists of extraction, vacuum concentration, clarification for the mucilage precipitate using 95°GL ethanol; recovering the alcohol by distillation; Spray drying was carried out in batches at a temperature of 145°C, obtaining a tannin concentration of 0,840 mg / mL, with an average yield of dry product of 10,42% based on the raw material in the pod. The resulting biomass was dried, pelleted and densified to be used as fuel in a stationary grate boiler, determining a saturated steam generation index of 5,260 tonnes of steam/ton of dry biomass with 10% humidity.

Key words: Sustainable production; Tannins; *Caesalpinia spinose*; extraction; Energy parameters.

1. INTRODUCCIÓN

Caesalpinia spinosa (Molina) Kuntze, comúnmente llamada tara, es una especie de importancia en la alimentación, medicina, industria. La tara es nativa del Perú, se caracteriza por ser un árbol pequeño de 2 a 3 metros de altura, se produce generalmente en zonas de La Libertad, Ancash Cajamarca Ayacucho, Huánuco, Ayacucho y Cusco (Ministerio de Agricultura y riego, 2019). Es una especie resistente a zonas áridas o semiáridas, debido a su capacidad fijadora del nitrógeno atmosférico y a la profundidad de sus raíces (Quispe, 2015; Alnicolsa, 2015)



El epicarpio de la tara contiene una alta concentración de taninos lo que es aprovechado para la producción de extracto con alto contenido de taninos elaborándose diversos productos como: ácido gálico, colorantes, tintes y mordientes para la industria del teñido, en la industria farmacéutica, y medicina dada sus propiedades astringentes y su actividad cicatrizante se utiliza en la curación herida. Su capacidad antioxidante, antiinflamatoria y anti bactericida resulta efectiva su aplicación contra agentes patógenos comunes. En la industria alimenticia la goma de tara es utilizada como espesante y estabilizante no modificando sus sabores (Callohuari et al. 2017), pero su principal aplicación es en el curtido de pieles debido a la presencia del grupo fenol lo cual lo define como taninos hidrolizables (polifenoles solubles en agua) presentes principalmente en el epicarpio de la tara. Los polifenoles cuya fórmula empírica es de $C_{76}H_{52}O_{46}$, al actuar sobre la piel del animal forman complejos insolubles con las proteínas evitando la acción de las enzimas como proteasas o peptidasas (enzimas proteolíticas.). (Vázquez et al. 2012; Olivas et al. 2015; Infante, 2015 y Castro et al.2013).

En el curtido de pieles para su transformación en cuero se emplean procesos químicos y mecánicos producto de ello se generan grandes cantidades de residuos sólidos y vertidos que constituyen un gran problema ambiental, principalmente en la etapa de curtido debido al empleo de sales de cromo, que generan principalmente aguas acidas de cromo (principalmente en su forma hexavalente que sobrepasa los máximo permisibles). En la actualidad teniendo en cuenta que en los sistemas colectores de aguas residuales no disponen de un tratamiento de estos efluentes urbanos e industriales además del riesgo a la salud por su alta carcinogenicidad por inhalación. El empleo de extractos curtientes tales como los provenientes de la tara en el curtido de pieles, constituyen una alternativa amigable con el medio ambiente además de sus características de calidad son más valiosos y tiene un buen precio en los mercados comparados a los curtidos con cromo.

La producción de taninos a partir de especies vegetales se expende generalmente como extracto seco para emplearlo principalmente en el proceso de conversión de las pieles de animales en cuero.

Melo (2013) propone la producción industrial de taninos, mediante un proceso extractivo teniendo en cuenta operaciones secuenciales de reducción y clasificación del tamaño de la partícula menor a los 2 mm de la materia prima, seguida de clarificación, filtración, concentración y secado.

Aguilar, et al., (2012), efectuó ensayos para obtener taninos realizando tres extracciones empleando 25 g de cada una de las muestras molidas adicionando 200 mL de etanol al 95%, dicha mezcla lo realizo a reflujo empleando una temperatura de 70 °C durante dos horas, con agitación continua. Finalmente, las muestras se filtraron al vacío y en caliente, utilizando papel Whatman N°54. Los extractos filtrados fueron concentrados en un evaporador rotatorio y liofilizado en un equipo Labconco Freezone 2,5.

Ali, (2012) utilizó cuatro variables de estudios tal como la relación materia prima/solvente la cual influye directamente en el rendimiento extractivo de los taninos, siguiendo a este el factor solvente el cual está formado por la relación de etanol/agua y posteriormente los factores tiempo y temperatura. Para la etapa de optimización del rendimiento empleo el método Superficie Respuesta utilizando el Diseño Compuesto Central Rotable, obteniendo un concentrado con un máximo rendimiento de taninos hidrolizables de tara de 80,30 % según las variables de estudio: factor relación materia prima / solvente con 2,5699g /100 ml., factor solvente con 99,9% de etanol, factor tiempo con 29,5 minutos y el factor temperatura con 40°C.

Acha et al. (2014), determinó las condiciones óptimas de secado por atomización del extracto tánico maximizando el rendimiento del producto final y a si mismo minimizar la degradación térmica de taninos empleando los métodos de Taguchi y Superficie de Respuesta, teniendo como factores de estudio, la temperatura del aire de secado, velocidad del aire de secado, velocidad de alimentación y concentración de encapsulante. La finalidad del encapsulado es para evitar inconvenientes como la aglomeración de partículas, apelmazamiento y pegajosidad adherida, a las paredes del secador, según Díaz et al. (2017) este problema se presenta como consecuencia de la baja temperatura de transición vítrea (Tg) del sistema, atribuida directamente a la poca afinidad química entre las moléculas de agua y los azúcares de bajo peso molecular contenidos en los taninos u otros productos ricos en azúcar, por ello es necesario emplear agentes encapsulantes en el secado por atomización, como es el caso de la pithaya amarilla teniendo en cuenta que estos materiales contienen bioelementos como los polifenoles y que estos pueden ser alterados por las condiciones ambientales al secado.

Núñez et al. (2019) evaluaron las condiciones óptimas para la extracción de polifenoles totales, a partir de la planta marina *Thalassia testudinum* conocida como praderas submarinas o hierba de tortuga. Los autores evaluaron tres factores importantes para la extracción de los compuestos fenólicos, optimizados mediante el método de Box y Hunter: velocidad de agitación, relación material vegetal / % alcohol y la concentración del alcohol. La variable respuesta es la concentración de polifenoles totales determinada por el método de Folin-Ciocalteu.

Paz, et al. (2021) emplearon extracto de taninos obtenido del fruto piñón de oreja (*Enterolobium cyclocarpum*) para el curtido de piel de conejo común (*Oryctolagus cuniculus*). Las pruebas las realizaron empleando: etanol,

acetona y metanol según las proporciones: 1,42 g/L de extracto, 149 g/L, 1,32 g/L equivalentes a 78%, 80% y 71% respectivamente. Se obtuvo una mayor concentración de tánicos empleando como extractante alcohol etílico al 70% (1,42 g /L) y acetona al 70% (1,49 g /L), cuantificándose por el método Folin Ciocalteu modificado. Se obtuvo una concentración de polifenoles totales promedio de 25,60 mg/g. de extracto seco. La mayor concentración de polifenoles totales se obtuvieron según los parámetros óptimos: concentración de etanol y la velocidad de agitación empleados en el proceso en los cuales se logra obtener la máxima concentración de polifenoles totales en el extracto (Seijas et al.2018).

Dentro de este contexto, los diferentes procesos industriales requieren de energía para las diferentes operaciones de producción tal como el proceso de producción de taninos a partir de especies vegetales, optimizando sus parámetros operativos tales como relación materia prima solvente, temperatura y tiempo de extracción, velocidad de agitación, concentración de disolvente que permita una mayor concentración de taninos (polifenoles) y por supuesto con un mínimo consumo energético principalmente en las operaciones de extracción, concentración, destilación y secado del producto.

Cabe resaltar, que el empleo de biomasa resultante del proceso de producción de taninos constituye una alternativa para aprovechar este recurso en la generación de vapor principalmente para las operaciones de extracción, concentración destilación, mientras que para el secado aprovechar los gases de combustión provenientes de la caldera como fluido termoportador, disminuyendo el consumo de combustible requerido en este equipo y consecuentemente las emisiones de gases de efecto invernadero , disminuyendo así el efecto en el cambio climático mejorando la calidad del aire en beneficio de nuestra salud. La generación de CO₂ producto de la combustión de biomasa no altera el equilibrio de concentración de carbono en el ambiente debido a la procedencia de un carbono retirado de la atmósfera en el mismo ciclo biológico (IMARTEC. 2014). De esta manera se contribuye a la Sostenibilidad y Economía circular en la industria de procesos con responsabilidad ambiental (Seijas et al, 2020).

Además, los biocombustibles obtenidos a partir de materiales tales como: astillas de madera, cáscara de arroz, bagazos, etc. son adecuadas para su empleo en calderas, tanto para la producción de energía eléctrica o como medio calefactor, empleando cámaras de combustión de alta eficiencia sean de tipo parrilla estacionaria, de cadena o de lecho fluidizado y de gran capacidad. (Zhengzhou Boiler Co, 2016). La aplicación de los biocombustibles tanto para su transporte como para generar energía es más conveniente en forma de pellets densificados mediante prensado, pudiéndose emplear tanto en calderas tipo acuotubular sean de tipo parrilla móvil o fija de hogar interno superando una eficiencia de 80%, también a nivel doméstico como en estufas (Pérez, 2017; Comisión mixta de la Biomasa Forestal de Navarra, 2015; Seijas et al ,2018).

2. METODOLOGÍA

Muestra biológica: *Caesalpinia spinosa* Kuntze), procedente de La Libertad: longitud aproximada de 10 cm con un promedio de 7 semillas de diámetro promedio 0,75 cm.

Prueba de laboratorio:

Preparación del extracto tánico. - Se empleó 80 kg de vainas, las mismas que fueron pesadas y distribuidas para efectuar pruebas a escala de laboratorio y escala piloto. Las vainas de tara fueron seleccionadas manualmente, separando las deterioradas o infectadas con algún tipo de plaga.

Se empleó el diseño factorial según Diseño Placket & Burman para obtener los parámetros óptimos en el proceso de obtención de extracto tánico, evaluando los factores: Relación materia prima/ extractante (1:3 y 1:6), tiempo de extracción (45 y 60 minutos) y temperatura de extracción (60 y 70 °C). Se realizaron los ensayos; combinando los factores escogidos y su domino experimental.

Determinación de la concentración de taninos: Se evaluó cuantitativamente la concentración de taninos del extracto tánico de cada nivel, mediante extracción acuosa caliente y titulándolos con Permanganato de Potasio en medio ácido y en presencia de indicador Índigo de Carmín. (Kasai. 2013; Castro et al. 2013).

La biomasa generada en la extracción se procedió a secado solar, para la elaboración de pellets energéticos, aplicando 4 niveles de presión obteniendo densidades de: 707,34; 825,25; 1072,06 y 1250,47 kg / m³ respectivamente; esta última con una presión de compactación de 145MPa para luego medir el índice de friabilidad y su poder calorífico. Se efectuó pruebas en caldera de biocombustible determinando el índice de generación de vapor por toneladas de biocombustible.

Equipos para pruebas experimentales

Equipo compuesto por molino despepitador de 1,5 kW, difusor con agitador de agitación de 0,4hp, velocidad de 300 rpm, inyector de vapor-liquido, evaporador tipo circulación forzada con diámetro: 400 mm y altura de 2400 mm, con sistema de vacío, Clarificador cilíndrico de fondo cónico con sistema de agitación de 0,4 hp,

diámetro: 500 mm, altura total: 1500 mm; Columna de Destilación tipo platos de burbujeo y discos perforados con hervidor externo dimensiones de la columna: diámetro: 200 mm, altura 2400 mm; Caldera tipo: acuatubular: capacidad: 100 kg/h de vapor saturado, cámara de combustión de tipo parrilla estacionaria ; Combustible: carbón antracita y/o biomasa con ventilador centrífugo de 0,76 kW; SP: 15cm.C.A acoplado directo hacia la cámara de combustión; Secador por atomización con diámetro 0,80 m, altura 1,15m , velocidad del atomizador: 20 000 rpm, bomba de 1hp, y 3450 rpm.

Equipos de laboratorio

Molino manual tipo discos de fricción, Balanza analítica Sartorius de 10000g \pm 0,00001g., Bomba calorimétrica y calorímetro de mezcla; Termómetro de mercurio de -10 a 200°C, Cronómetro.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra la concentración de taninos para cada grupo experimental teniendo en cuenta la relación materia prima /extractante, tiempo y temperatura de extracción consideradas las variables más significativas para la etapa de difusión.

Tabla 1. Parámetros operativos óptimos en la extracción de taninos (Etapa de difusión)

Matriz de experimentos				Plan de experimentación			Respuesta
Grupo	X ₁	X ₂	X ₃	Relación materia prima / extractante	Tiempo de extracción (min.)	Temperatura de extracción (°C)	Concentración de taninos en extracto (mg/mL)
T1	-	-	-	1/3	45	60	0,825
T2	+	-	-	1/6	45	60	0,800
T3	-	+	-	1/3	60	60	0,823
T4	+	+	-	1/6	60	60	0,829
T5	-	-	+	1/3	45	70	0,840
T6	+	-	+	1/6	45	70	0,807
T7	-	+	+	1/3	60	70	0,841
T8	+	+	+	1/6	60	70	0,802

Tabla 2. Balance de materia del proceso de elaboración de taninos Bs: Producto seco a producir (ton/h)

Corriente	Modelo matemático
Materia prima en vaina:	$C = 9,6 B_S$
Semillas de tara	$C_{se} = 6,1363 B_S$
Tara en polvo:	$C_t = 3,4636 B_S$
Agua desmineralizada caliente: 70°C	$m_{ac} = 10,3910 B_S$
Materia prima y extractante: 1:3	$m_{ji} = 13,8547 B_S$
Residuos sólidos del difusor: humedad:50%	$m_{RST} = 5,2358 B_S$
Jugo de tara filtrado :10% solidos)	$M_{jF} = 8,6180 B_S$
Vapor vegetal de salida del evaporador:	$S = 6,4640 B_S$
Concentrado de tara del evaporador: 40% de solidos	$Con = 2,1547 B_S$
Alcohol etílico de 96°GL: 30% del concentrado	$m_{al} = 0,6507 B_S$
Mucilagos (Floculos):	$F_F = 0,5430 B_S$
Concentrado de tara clarificado: con 30% etanol de 96°GL	$F = 2,2623 B_S$
Alcohol recuperado:	$D = 0,6607 B_S$
Concentrado de tara sin alcohol:	$B = 1,6017 B_S$

En la tabla 1 se presenta los parámetros operativos óptimos de difusión de la matriz T5: Relación materia prima extractante de 1:3; tiempo de extracción 45 minutos a una temperatura de 70°C para obtener una concentración de taninos en una sola etapa extractiva de 0,840 mg/mL

La tabla 3 presenta el requerimiento de energía térmica, vapor y agua desmineralizada para la extracción de taninos a partir del flujo de materia prima (vainas de tara).

Tabla 3. Parámetros energéticos para elaboración de taninos Bs: Producto seco a producir (ton/h)

Requerimiento de vapor saturado: (ton/h)	
Corriente	Modelo matemático
Requerimiento de vapor en difusor	$W_D = 0,6850 B_s$
Requerimiento de vapor en el evaporador	$W_E = 7,6018 B_s$
Requerimiento de vapor en la columna de destilación	$W_{CD} = 0,3644 B_s$
Requerimiento total de vapor	$W_T = 8,6512 B_s$
Potencia de caldera: Tipo acuotubular	$BHP = 5550 B_s$
Requerimiento de agua tratada para la caldera	$m_{at} = 8,606 B_s$
Requerimiento de biomasa para la caldera:	$m_{biomasa} = 0,9223 B_s$
Energía disponible de gases de combustión: (MJ/Ton.)	$Q_g = 5004 B_s$

Tabla 4. Pellets de biomasa de tara empleado en la caldera acuotubular de tipo parrilla estacionaria.

Corriente	Valor
Poder calorífico promedio (MJ/Ton.)	19 076,8
Contenido de humedad (%)	10,00
Presión de compactación (MPa)	120,00
Densidad (kg/ m ³)	1250,47
Índice de friabilidad	1,00
Índice de generación Ton de vapor/Ton de biomasa	5,260
Relación aire de combustión/combustible (pellets)	2,150
Calor de gases de combustión / pellets (MJ/Ton.)	5425,45
Potencia del ventilador de tiro forzado: (kW)	16,200
Potencia del ventilador tiro inducido: (kW)	20,540
Flujo de gases de combustión/flujo de pellets :	18,538
Eficiencia térmica (sin recuperadores de calor) (%)	72,180

En la tabla 1 se presenta los parámetros operativos óptimos de difusión de la matriz T5: Relación materia prima extractante de 1:3; tiempo de extracción 45 minutos a una temperatura de 70°C para obtener una concentración de taninos en una sola etapa extractiva de 0,840 mg/mL

La tabla 3 presenta el requerimiento de energía térmica, vapor y agua desmineralizada para la extracción de taninos a partir del flujo de materia prima (vaina de tara).

La tabla 5 presenta los resultados del secado del extracto tánico, indicando los parámetros energéticos a la entrada (Flujo de solución a secar) y salida del secador de atomización como flujo de producto seco.

Tabla 5: Parámetros energéticos de secado del extracto tánico (secado por atomización) empleando gases de combustión provenientes de la caldera: Bs: (ton./h)

Parámetros energéticos	Cantidad
B: Flujo de solución a secar: (Ton /h)	B = 4,800 Bs
V: Agua evaporada: (Ton /h)	V = 3,800 Bs
Ts: Temperatura de secado: (°C)	150 -160
T _o : Temperatura de ingreso de la solución (°C)	30
N: Velocidad de atomización: (rpm)	20 000
Humedad final del producto (%)	3,30 - 4,00
Energía calorífica requerida para secado: (MJ /h)	11856 Bs
Flujo másico de aire de secado: (Ton /h)	1,7897Bs
Flujo volumétrico de aire de secado: (m ³ /h)	107,384Bs
Flujo volumétrico de gases de combustión*: (m ³ /min.)	323,576 Bs
Energía disponible por gases de combustión*: (MJ /h)	5004 Bs
Potencia del ventilador para gases de combustión: (hp)	16,64 Bs
Ahorro de energía térmica por empleo de gases de combustión (%)	42,20
Flujo másico de GLP con adición de gases de combustión (Ton/h)	0,1489 Bs
Ahorro de GLP empleando gases de combustión: (Ton/h)	0,1088Bs

Para la selección del ventilador centrífugo normalizado que succiona los gases de combustión provenientes de la chimenea de la caldera, se tuvo en cuenta una presión estática recomendable de 12,5 cm. de columna de agua y una eficiencia mecánica calculada de 58%. La descarga del ventilador se acopla al ducto de salida de gases de la cámara de combustión del secador.



Figura 1: Proceso de producción industrial de taninos a partir de la *Caesalpinia Spinosa*

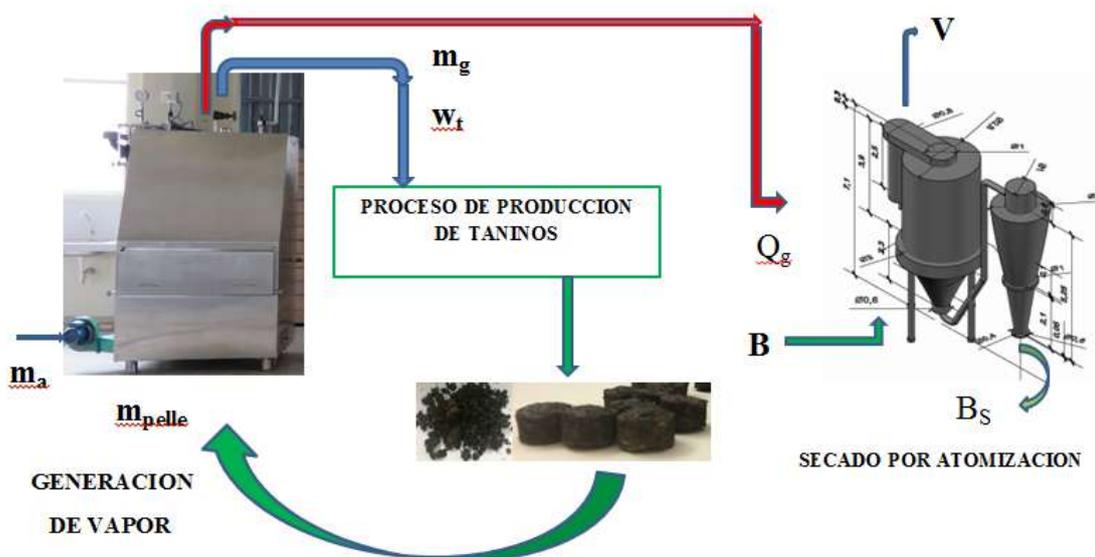


Figura 2. Propuesta para empleo de gases de combustión generados por la caldera de biomasa

La figura 2 constituye un algoritmo de programa para determinar el requerimiento de energía para todos los equipos del proceso: difusor, evaporador, columna de destilación y el cálculo de la capacidad de la caldera requerida para el proceso, así como el flujo de combustible necesario.

La figura 3 constituye un algoritmo de programa para determinar el requerimiento de energía, las principales dimensiones del secador, el flujo de energía y el consumo de combustible (GLP) para el secado teniendo como base de cálculo el flujo de producto final seco.

La figura 4 presenta el algoritmo para determinar los parámetros de diseño de Difusor tales como el volumen, altura y diámetro, así como el requerimiento de agua caliente desmineralizada.

La figura 5 presenta el algoritmo para determinar las características de diseño del agitador a para el difusor tal como potencia del motoreductor, diámetro, ancho del impulsor.

García A. et al., (2013) empleando biomasa peletizada para su empleo en hornos de calcinación de ladrillos. Según las pruebas realizadas, determinaron que el mejor material que sustituye al carbón es el aserrín, teniendo en cuenta un menor contenido de humedad y densidad que el carbón bituminoso y materiales provenientes de sauces, robles y eucalipto; determinaron un poder calorífico de 16,88 mJ/kg, un contenido de humedad de

13,3% , una densidad aparente de 480 kg/m³ y una durabilidad de 97,6 comparado con los pellets de tara con un poder calorífico de 19,07 MJ/kg un contenido de humedad de 10 % un coeficiente de Friabilidad de 1,0 esto es debido a que los pellets de tara fueron compactados a una presión de 147,10 MPa, obteniéndose una densidad aparente de 1202,27 kg/m³

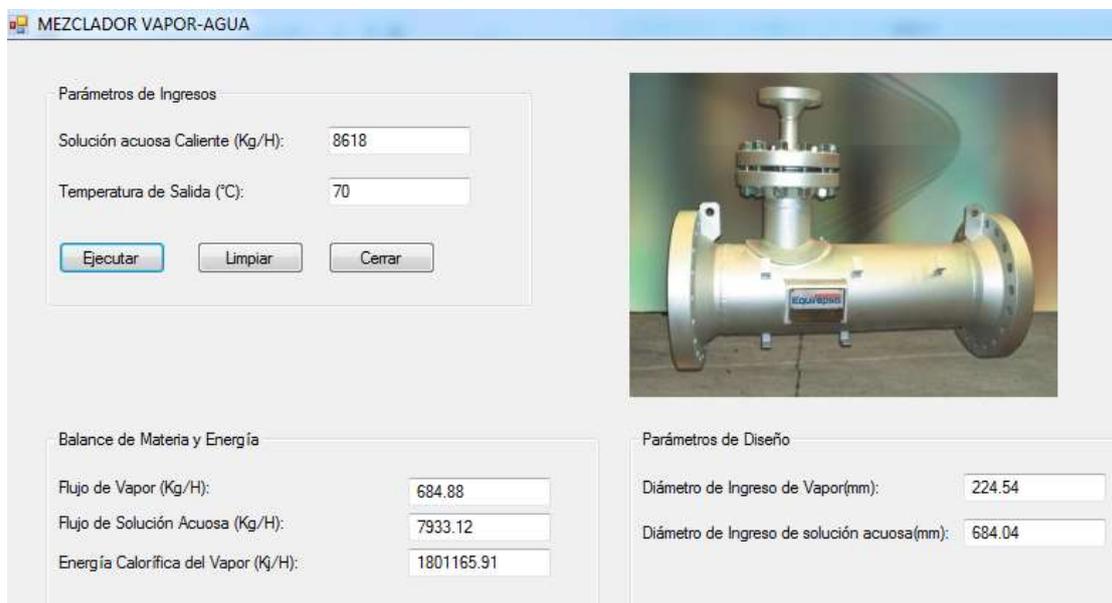


Figura 3. Mezclador liquido-vapor para precalentamiento de agua en el extractor



Figura 4. Parámetros energéticos en la concentración al vacío de extracto tánico

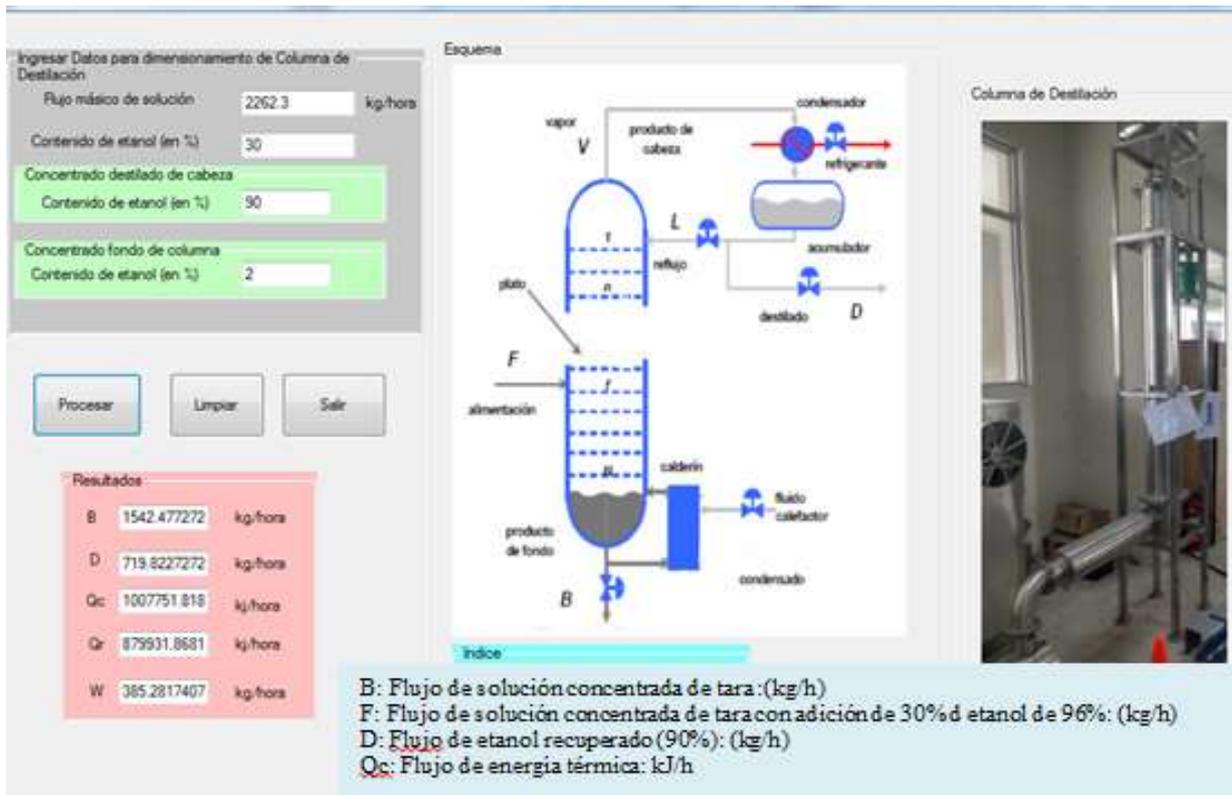


Figura 5. Calculo de corrientes de entrada y salida de flujos de la columna de destilación



Figura 6. Calculo de parámetros energéticos de secador de tipo atomizador para extracto tánico

Generación de vapor

La biomasa generada en la extracción se procedió a secado solar, para la elaboración de pellets energéticos, aplicando una presión de 145mPa obteniéndose una densidad de 1250,47 kg/m³, friabilidad equivalente a 0,97 y poder calorífico promedio de 18849,95 kJ /kg.

Se determinó una eficiencia térmica en caldera acuotubular de 72,18 % sin el empleo de recuperadores de calor, empleando 1,93 kg aire/kg biocomb. Se determinó una producción de vapor saturado de 5,5kg de vapor /kg de biomasa seca (10% de humedad final).

Las operaciones básicas y el equipo requerido para el proceso de obtención de taninos de la *Caesalpinia spinosa* (tara) se muestra en la figura 1; se inician con la molienda de las vainas secas reduciendo el tamaño de la partícula, seguido de la extracción, filtración, concentración, clarificación y secado; todas estas etapas del proceso son similares para los procesos agroindustriales. (ALNICOLSA, 2015) empresa dedicada a la producción de diferentes productos agroindustriales de exportación entre ellos principalmente derivados de tara emplea un proceso similar al empleado en el presente estudio a escala industrial; iniciándose con la molienda de la vaina, luego la extracción lo realiza de dos tipos rural o industrial. En el procedimiento de tipo industrial, la empresa lo realiza la "difusión en tanque abierto", el de "colado", el de "cocción", el de "autoclave", el de "Contra corriente o sistema de lixiviación". Es decir, un procedimiento de difusión continuo para extraer los taninos de partes diferentes de la planta. El proceso de difusión lo efectúa en dos o más etapas a fin de extraer la máxima cantidad de taninos; sin embargo, en cada etapa el jugo es más diluido y el gasto de energía es mucho mayor puesto que lo realiza a temperatura entre 60°C a 82 °C para evitar que los taninos precipiten y se oscurezcan. El procedimiento empleado por la empresa dura en total de 3 a 4 días a diferencia del proceso empleado en el presente trabajo; el proceso para la extracción acuosa solamente tarda 45 minutos a la temperatura de 70°C lo que repercute en el costo de producción por su menor consumo de energía el cual genera un balance de materia y energía optimizada; similar proceso emplearon (Dueñas et al., 2016) para la extracciones de compuestos fenólicos (ácido gálico) a partir de la especie vegetal *Chuquiraga Jussieui* J.F Gmel.

La extracción es una de las etapas más significativas teniendo en cuenta que la energía térmica requerida depende de la relación sólido a extractante (agua), tiempo y temperatura de extracción de taninos para obtener una máxima concentración de taninos. El proceso empleado para obtención de taninos es semejante a todos los procesos extractivos diferenciándose en sus parámetros operativos que en el presente trabajo fueron optimizados. En los procesos de extracción de taninos de diferentes especies vegetales se emplean como solventes agua y/o alcohol etílico en diferentes proporciones. (Ramos, 2013)

Empleó como extractante alcohol etílico para la extracción de taninos de la corteza de *Pinus radiata* obteniendo un mayor rendimiento empleando bajas concentraciones de etanol a temperatura de 40°C; similar estudio efectuó (Do et al., 2014) obteniendo alto rendimiento al incrementar el contenido de agua. En el presente estudio se empleó como extractante agua desmineralizada en proporción materia prima: solvente de 1:3 teniendo en cuenta que químicamente son compuestos fenólicos, no nitrogenados, metabolitos solubles en agua y no en solventes orgánicos. (Ali, 2012) estudió los factores tales como relación materia prima/solvente la cual afecta de forma directa en el rendimiento de la extracción de los taninos, siguiendo a este el factor solvente el cual está formado por la relación de etanol/agua y posteriormente los factores tiempo y temperatura. En la etapa de extracción para la concentración de taninos (Ácido Gálico) empleo la vaina de tara en polvo comparando tres solventes (Acetona, etanol y metanol) para el proceso de lixiviación, empleando etanol obtuvo una mayor extracción de taninos hidrolizables, y con los otros extractantes obtuvo una menor eficiencia extractiva (80,30 %); los resultados obtenidos son similares a pesar de emplear como solvente etanol empleando como parámetros de estudio: factor relación Materia Prima / Solvente con 2,5699g /100 ml., factor Solvente con 99,9% de etanol, factor Tiempo con 29,5 minutos y el factor Temperatura con 40°C.

En el proceso de extracción (lixiviación) sólido-líquido de la tara se empleó un tiempo de extracción de 45 minutos a una temperatura de 70°C. (Colín et al., 2013) realizaron estudios de obtención de taninos de la corteza de especies de parácata (*Erythroxylon compactum*) obteniendo taninos para su aplicación en curtición de la corteza de estas especies mediante extracción acuosa, empleando los parámetros: tamaño de partícula 0,417, 6,68 mm, temperatura de extracción de 80, a 87 °C; tiempo de extracción de 120 a 180 min y una relación sólido-líquido de 1:12, 1:15; los autores evaluaron la calidad curtiente de los taninos, sin embargo (Soto y Rosales, 2016) emplearon mezclas hidroetanólicas de 20,50 y 80% con relaciones de masa a extraer/volumen de disolvente de 1/10; 1/20; 1/30; obteniendo un máximo rendimiento con la relación 1/10 con etanol al 80% con una concentración final de 71,24% de taninos esto se debe a la solubilidad del alcohol en agua en diferentes proporciones teniendo en cuenta que los taninos son hidrosolubles.

Similar tratamiento efectuó (Dueñas et al., 2016) para la extracción de compuestos fenólicos (ácido gálico) a partir de la especie vegetal *Chuquiraga Jussieui* J.F Gmel empleando una relación de sólido a extractante entre 15 y 20g (1:10) del sólido con un tamaño de partícula de 3mm en 200mL de agua (1:10) empleando velocidades de agitación de 60 y 100 rpm a tiempos de contacto de 30 y 45 min. A una temperatura de 40 °C en la optimización emplearon como variable respuesta la capacidad de extracción sólido líquido de ácido gálico determinada por el método de Folin-Ciocalteu.

De acuerdo al flujograma del proceso y la obtención de los parámetros óptimos en la extracción de taninos se elaboró los balances de materia y energía tal como muestran las figuras 3; 4; 5 los cuales permiten contabilizar los flujos de materia y energía para efectuar una gestión óptima de la energía base para incrementar la competitividad de las empresas ante el alto costo de la energía, teniendo en cuenta que el costo unitario de la energía se incrementa muy por encima del índice de precios al consumidor es decir que cada vez el factor de costes energéticos de los productos es mayor (De la Cruz, 2014).

Los resultados de la optimización de los parámetros óptimos en el proceso extractivo mostraron significancia de los factores: relación tara /agua; tiempo de extracción y la temperatura del tratamiento, resultados concordantes con el trabajo de (Ali, 2012) que empleó los mismos factores solamente que incluyó como extractante alcohol – agua; en la optimización usó el método Superficie Respuesta utilizando el Diseño Compuesto Central Rotable.

4. CONCLUSIONES

El balance de materia y energía se determinó optimizando los parámetros operativos principalmente en la etapa de extracción: Relación materia prima /extractante: 1/3; tiempo de extracción de 45 minutos a una temperatura de extracción: 70°C, obteniendo una concentración de taninos de 0,840 mg/mL. Se empleó como extractante agua desmineralizada.

Las optimizaciones de los parámetros extractivos mostraron valores que tienen significancia R: tara /agua; t: tiempo de extracción (min) y T: temperatura (oC) de extracción; No existe interacción entre las variables de proceso significativo y no hay un efecto considerable de curvatura, pudiéndose expresar como modelo matemático por medio de un polinomio de primer orden. $Y = 0,8797 - 0,1080 R + 0,00063 t + 0,00008T$.

Los parámetros energéticos, el requerimiento de energía para los equipos del proceso y las dimensiones del equipo de extracción (difusor) para la producción industrial de taninos se determinaron mediante un balance de materia y energía considerando como variable de entrada la capacidad de producción de producto seco.

Agradecimiento a la oficina del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional de Trujillo por la subvención en la ejecución del presente trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acha, M.; Quispe, Y.; Christian, L. 2014. Optimización del proceso de secador por atomización del extracto tánico obtenido de las vainas de tara (*Caesalpinia spinosa*) aplicando los métodos Taguchi y Superficie de respuesta. Universidad Nacional del Callao
- Aguilar, J.; Vargas, A.; Jiménez, P.; Vega, I.; Herrera, J.; Borbón, H; Soto, R. 2012. Extracción y evaluación de taninos condensados a partir de la corteza de 11 especies maderables de Costa Rica. *Tecnología en marcha*. 25(4):15-22.
- Ali, D. 2012. Extracción de taninos (ácido gálico) a partir del polvo de vaina de tara (*caesalpinia spinosa*).Capítulo 12º. uri: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/unap/3404> (2012-09-27).
- Alnicolsa, 2015. Todo sobre la tara *caesalpinia spinosa* o *caesalpinia tinctoria*. Disponible en: <http://www.asocam.org/sites/default/files/publicaciones/files/b3c71f39d9c60acfd2fd4785095f28b9>. La tara Lima-Perú.
- Callohuari, R.; Sandoval, M.; Huamán, G. 2017. Efecto gastroprotector y capacidad antioxidante del extracto acuoso de las vainas de *Caesalpinia spinosa* ‘tara’, en animales de experimentación. Facultad de Medicina, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Castro, M.; Yépez, A.; Pastor, A. 2013.Comparación de tres métodos para determinar el porcentaje de taninos con el método de la norma ASTM D 6401 aplicado para la “tara”, “quinual”, “mimosa” y “pino.”
- Díaz, Y.; Torres, L.; Serna, J.; Sotelo, L. 2017. Efecto de la encapsulación en secado por atomización de biocomponentes de pitahaya amarilla con interés funcional. Universidad la gran Colombia Seccional Armenia, Facultad de Ingenierías, programa de ingeniería agroindustrial, armenia, Quindío, Colombia.
- Infante, O. 2015. Desarrollo de una crema elaborada a base del extracto atomizado de las vainas de *Caesalpinia spinosa* Molina Kuntze "tara".Tesis de grado: Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.

- Melo, M.; Glorío P.; Tarazona, G. 2013. Efecto de la madurez en los componentes de valor comercial (taninos y goma) de tara *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze. Tesis de Post Grado: Universidad Nacional Agraria, La Molina. Av. la Universidad s/n. Lima 12.
- Olivas, F.; Aguirre, A.; Medrano, G.; González, A. ; López J.; Díaz, E.; Álvarez, P.; De La Rosa, L.; Ramos, A. 2015. Taninos hidrolizables; bioquímica, aspectos nutricionales y analíticos y efectos en la salud. 1 universidad autónoma de ciudad Juárez. 2 centro de investigación en alimentación y desarrollo, A.C. México.
- Paz, D.; Agudelo, B.; Plata, P.; Pacheco, V.; Salazar, B.; Murillo, M. 2021. Extracto de taninos del fruto piñón de oreja (*Enterolobium cyclocarpum*) como curtiente para piel de conejo común (*Oryctolagus cuniculus*). 19(1): ISSN 1909-9959
- Pérez, J. 2017. "Es importante (invertir en biomasa) si no se quiere seguir dependiendo de todo": disponible en: <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2017/07/27/importante-invertir-biomasa-si-no-se-quiere-seguir-dependiendo-todo-juan-perez-experto>.
- Quispe, P. 2015. Efecto de 3 Biofertilizantes en el Desarrollo de Plantones de *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kunt nivel de vivero. Universidad Agraria La Molina. Facultad de Ciencias Forestales.
- Seijas, V.; Seijas, B. P.; Seijas, B. N.; Salgado, R.; Alva, C. Empleo de biomasa generada en el procesamiento de *caesalpinia spinosa* como combustible densificado para calderas.
- Vázquez, A.; Flores, E.; Parrilla, J.; López J.; Díaz, A.; Medrano, L. 2012. Taninos hidrolizables y condensados: Naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo.

ANEXOS

Tabla A-1: Optimización de sistema extractivo de taninos

Ensayo	Y_1	Y_2	Y	Variación
T_1	0,825	0,810	0,818	0,000113
T_2	0,800	0,820	0,810	0,000200
T_3	0,823	0,816	0,820	0,000250
T_4	0,829	0,845	0,837	0,000128
T_5	0,840	0,831	0,836	0,000041
T_6	0,807	0,800	0,804	0,000025
T_7	0,841	0,854	0,848	0,000085
T_8	0,802	0,798	0,800	0,000008
T_9	0,801	0,838	0,8220	0,000106
	0,820	0,842		

Variación conjunta: $S^2_{conjunta}$

$$S^2_{conjunta} = 0,000106$$

$$C_{conjunta} = 0,0103$$

$T_1 \dots T_8$: 2 réplicas

T_9 : Con 4 réplicas

Para el ensayo T_9 ; $X_1 = 0$; $X_2 = 0$; $X_3 = 0$

Efectos del Factor significativo mínimo [MIN]

$$[MIN] = t^*s * \sqrt{\left(\frac{2}{m*k}\right)}$$

Efecto de curvatura significativa mínima [MINC]

$$[MINC] = t^*s * \sqrt{\left(\frac{1}{m*k} + \frac{1}{c}\right)}$$

t: valor apropiado de la tabla “t” Students

s: desviación estándar conjunta

k: número de réplicas en cada ensayo

c: número de puntos centrales

t = 2,20 (de tabla “t” de students) para un nivel de confianza de 95% y 11 grados de libertad

Grados de libertad = $8(2-1) + 1(4-1) = 11$

$$[MIN] = 2,20 * 0,0103 \sqrt{\frac{2}{4*2}} = 0,0113$$

$$[MINC] = 2,20 * 0,0103 \sqrt{\left(\frac{1}{8*2} + \frac{1}{4}\right)} = 0,0127$$

Según la tabla que muestra la curvatura para los valores de efecto del factor significativo mínimos: es significativo solamente

(X_1) = relación tara /agua (R)

(X_2) = tiempo de extracción (min)

(X_3) = temperatura de extracción (°C)

No existe interacción entre las variables de proceso

Y no hay un efecto considerable de curvatura, pudiéndose expresar como modelo matemático por medio de un polinomio de primer orden. Los valores de los coeficientes son la mitad de los efectos de los factores que se indican en la tabla ya que están basados en niveles codificados +1 y -1 que difieren entre sí por dos unidades.

$$Y = 1,1000 - 0,0090X_1 + 0,0047 X_2 + 0,0004X_3$$

En la presente ecuación los factores se expresan en unidades codificadas por lo que convertiremos a unidades reales.

Teniendo en cuenta el dominio experimental para cada factor se tiene

$$X_1 = \frac{R-0,25}{0,0833}; \quad X_2 = \frac{t-52,5}{7,5}; \quad X_3 = \frac{T-6,5}{5}$$

$$X_i = \frac{R - \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{6}\right) / 2}{\left(\frac{1}{3} - \frac{1}{6}\right) / 2}$$

Reemplazando los factores en la ecuación se tiene

$$Y = 0,8797 - 0,1080 R + 0,00063 t + 0,00008T$$

Tabla A-2: Superficie de respuesta representación geométrica de la función objetivo (relación entre las variables dependiente y las independientes)

ENSAYO	MEDIA	DISEÑO			CÁLCULO				RESPUESTA
		X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$	Y
T_1	+	-	-	-	+	+	+	-	0,818
T_2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,810
T_3	+	-	+	-	-	+	-	+	0,820
T_4	+	+	+	-	+	-	-	-	0,837
T_5	+	-	-	+	+	-	-	+	0,836
T_6	+	+	-	+	-	+	-	-	0,804
T_7	+	-	+	+	-	-	+	-	0,848
T_8	+	+	+	+	+	+	+	+	0,800
sumas+	6,573	3,251	3,305	3,288	3,303	3,290	3,276	3,266	
sumas-	0	3,322	3,268	3,285	3,270	3,283	3,297	3,307	
suma	6,573	6,573	6,573	6,573	6,573	6,573	6,573	6,573	
diferencia	6,573	-0,071	+0,037	+0,003	+0,030	+0,010	-0,021	-0,041	
efecto	1,100	-0,018*	+0,0093	+0,00075	+0,0075	+0,0025	-0,00525	-0,01025	
curvatura = $1,1 - 0,822 = 0,278^*$									

Tabla A-3: Superficie de respuesta representación geométrica de la función objetivo (relación entre las variables dependiente y las independientes)

Ensayo	Media	Diseño			Calculo				Respuesta
		X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$	Y
T_1	+	-	-	-	+	+	+	-	0,818
T_2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,810
T_3	+	-	+	-	+	+	-	+	0,820
T_4	+	+	+	-	-	-	-	-	0,837
T_5	+	-	-	+	-	-	-	+	0,836
T_6	+	+	-	+	+	+	-	-	0,804
T_7	+	-	+	+	-	-	+	-	0,848
T_8	+	+	+	+	+	+	+	+	0,800
Sumas +	6,573	3,251	3,305	3,288	3,303	3,290	3,276	3,266	
Sumas -	0	3,322	3,268	3,285	3,270	3,283	3,297	3,307	
Suma	6,573	6,573	6,573	6,573	6,573	6,573	6,573	6,573	
Diferencia	6,573	-0,071	+0,037	+0,003	+0,030	+0,010	-0,021	-0,041	
Efecto	1,100	-0,018*	+0,0093	+0,00075	+0,0075	+0,0025	-0,00525	-0,01025	
Curvatura	$1,1 - 0,822 = 0,278$								