



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE
RECUPERACIÓN DE ALMENDRAS O PALMISTERÍA
EN LA EXTRACTORA LA GLORIA S.A.S.**

María Jimena Chiquillo Moratto

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química

Medellín, Colombia

2019



OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ALMENDRAS O
PALMISTERÍA EN LA EXTRACTORA LA GLORIA S.A.S.

María Jimena Chiquillo Moratto

Informe de práctica como requisito para optar al título de: Ingeniero químico

Asesor:

Henry Nelson Zúñiga Benítez

Ingeniero químico

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química
Medellín, Colombia

2019

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ALMENDRAS O PALMISTERÍA EN LA EXTRACTORA LA GLORIA S.A.S.

RESUMEN

La palmistería es el proceso mediante el cual se realiza la recuperación de almendra a través del rompimiento de la nuez, y posterior separación. De esta manera, el objetivo del trabajo desarrollado fue optimizar el proceso de recuperación determinando aquellos parámetros operacionales con mayor incidencia en el proceso. Metodológicamente, se definió, inicialmente, el problema a abordar considerando los valores de impurezas y pérdidas de almendra, seguidamente se establecieron los parámetros más significativos en el proceso de separación, para luego por medio de un diseño experimental de tipo factorial y la metodología de superficie de respuesta determinar las condiciones que favorecen el proceso.

Los parámetros experimentales evaluados fueron la temperatura en el silo de nuez, distancia del rotor y la coraza en los trituradores y la velocidad de separación almendra-cascarilla en la columna neumática. Se establecieron dos niveles de operación para cada variable.

Los resultados obtenidos indicaron que si se operaba el silo con temperaturas altas ambas variables (porcentajes de pérdidas e impurezas) respondían favorablemente; en el caso de la distancia rotor-coraza deber ser verificada su calibración constantemente, comprobando el porcentaje de nueces que no son rotas al pasar por el triturador; en la velocidad de la columna cuando se operó a niveles altos las impurezas disminuían significativamente caso contrario con las pérdidas, pues sus valores se elevaban. Se concluyó que la velocidad del aire en la columna tiene influencia directa sobre las impurezas y las pérdidas, mientras la temperatura en el silo de nuez y distancia rotor-coraza influyen directamente en las impurezas, y de manera indirecta en las pérdidas de masa.

1. INTRODUCCIÓN

Extractora La Gloria S.A.S es una empresa ubicada en el sur del departamento del Cesar, en el municipio de La Gloria, cuya actividad principal la elaboración de aceites y grasas de origen vegetal. La extractora consta de 5 plantas de procesamiento como son la planta Extractora de Aceite Crudo de Palma; una Planta Extractora de Aceite de Palmiste; una Planta de Cogeneración de Energía, una Planta de Compostaje y una planta de tratamiento de aguas. Conjuntamente desde su inicio la empresa se ha comprometido a generar desarrollo socio-económico para la región haciendo uso racional de los recursos naturales y garantizando la sostenibilidad de la empresa en el tiempo (Hacienda la Gloria, 2014).

La fruta de la palma de aceite está compuesta de pulpa fibrosa aceitosa, cuesco y almendra o semilla; en la fruta están contenidos dos tipos diferentes de aceite, el aceite de palma del mesocarpio de la fruta (CPO) y el aceite de Palmiste CPKO (o aceite de almendra), cada uno con distintos usos (Ahmad, 2017).

El aceite de palma se extrae de la fruta mediante varias operaciones; el racimo de fruto recién cosechado se esteriliza en cámaras de vapor y luego se envían a un tambor rotatorio para ser desfrutado. Los frutos pasan a los digestores, los cuales son equipos que contienen paletas agitadoras, cuya acción macera la fruta y rompe las celdas que contienen aceite. Los digestores están unidos a un equipo de prensado, en el cual se libera el aceite de fruta de palma (Rizvi, 2010). El líquido proveniente de las prensas está compuesto de aceite, agua y algunas impurezas sólidas, esta mezcla se procesa para clarificar el aceite. Los sólidos de la prensa consisten en material de pulpa húmedo y es llamado torta de prensa; la torta proveniente de las prensas está compuesta básicamente por fibras, nueces y humedad (Sivasothy, Maycock & Kiochiro, 1994). La torta pasa al proceso de desfibración, donde las fibras en un gran porcentaje son arrastradas por una corriente de aire, separándolas de las nueces en una columna de desfibración neumática, luego para desprender la fibra que aún está adherida, la nuez es llevada a un tambor pulidor. La nuez pulida es llevada a un silo de almacenamiento para su secado, estos silos poseen un ventilador y unos radiadores con vapor, el ventilador sopla aire por unos conductos, el cual luego pasa por los radiadores calentando el aire e inyectándolo al silo para el secado de la nuez. De los silos de nuez o de almacenamiento, la nuez es llevada hacia un tambor clasificador de tamaños para su posterior trituración en molinos tipo *ripple mill*.

El proceso de palmistería tiene asociados altos porcentajes de contenido de impurezas y pérdidas de materias primas, por lo que es necesario evaluar a nivel de planta de proceso la incidencia de diferentes parámetros de operación sobre el rendimiento en la obtención del producto de interés. En este sentido, se propuso identificar aquellos factores operacionales con una incidencia significativa sobre la etapa de recuperación de la almendra, y establecer la manera como estos contribuirían en la disminución del porcentaje de pérdidas e impurezas.

2. OBJETIVOS

Objetivo General: Optimizar el proceso de recuperación de almendras o palmistería (pérdidas de masa y pureza) efectuado en la planta extractora de aceite de palma La Gloria S.A.S.

Objetivos Específicos:

- Determinar los parámetros de operación que interfieren en el proceso de palmistería desarrollado en la extractora La Gloria S.A.S.
- Evaluar el efecto que tienen los parámetros de operación (temperatura de secado, velocidad de aire, distancia del rotor y la coraza en el *ripple mill*) sobre la cantidad de almendras obtenidas luego del proceso de palmistería efectuado en la extractora La Gloria S.A.S.
- Establecer una expresión matemática que relacione la cantidad másica de almendras obtenidas y aquellas variables de operación con un efecto significativo sobre el proceso de palmistería efectuado en la extractora La Gloria S.A.S.

3. MARCO TEÓRICO

La industria de [aceite de palma](#) es la principal vía de producción de [aceite vegetal](#) en el mundo. En este, el aceite es extraído del mesocarpio (carne aceitosa exterior) de la fruta o corozo de la palma. La almendra (dentro del endocarpio de la fruta de la palma) también es rica en aceite; sin embargo, también hay presencia de diferentes [ácidos grasos](#). Esta industria ha tenido un crecimiento exponencial a lo largo de los últimos años debido a que el rendimiento por hectárea de palma aceitera es aproximadamente cinco veces mayor que el de otros cultivos, como la [soja](#), el [girasol](#) y la canola, adicionalmente esta materia prima puede ser empleada en múltiples procesos (Cárdenas, 2017).

La extracción de aceite de palma contempla las siguientes etapas (Velayuthon, 1997):

- **Esterilización:** Los racimos de la fruta se vaporizan en recipientes presurizados a 135-150 °C con tres picos de presión durante 90 minutos. En esta etapa se busca evitar la formación de ácidos grasos libres e inhibir las enzimas que degradan la fruta.
- **Desfrutado:** Luego de la esterilización los racimos son llevados a un tambor giratorio para separar la fruta del racimo.
- **Digestión y prensado:** Los frutos son llevados a digestores, donde se calientan a 85-95 °C bajo agitación continúa. La mezcla digerida es llevada a prensado para efectuar la extracción de aceite. De aquí se obtiene la torta de prensa y el aceite crudo.
- **Clarificación y purificación:** El aceite crudo proveniente de la prensa, compuesto por aceite de palma crudo (35-45%), agua (45-55%) y otros (residuos celulares, materiales fibrosos y sólidos no grasos), es bombeado a los tanques clarificadores para separar el aceite e impurezas. La temperatura del proceso de clarificación se debe mantener a aproximadamente 90 y 95 °C y así garantizar un rendimiento máximo (Lai, Oi-Ming, Chin-Ping, Casimir, 2012).

Luego del proceso de extracción, se lleva a cabo el proceso de **palmistería** cuyo fin es la recuperación de la almendra a través de la ruptura de la nuez; este proceso comienza con la separación de las fibras y la nuez de la torta de prensa, a través de los siguientes procesos:

- **Desfibración:** Este proceso inicia al finalizar la extracción de aceite. De aquí, la torta es llevada hacia la columna de desfibración a través de un transportador sinfín, el cual posee una serie de paletas de inclinación graduable en donde se da en conjunto el transporte y el desmenuzamiento de la torta de prensa. La velocidad de rotación de las paletas se encuentra entre 80 y 85 rpm. El contenido de humedad de la fibra se puede reducir desde alrededor de 36-40 % en el sitio de descarga de las prensas hasta 26-30 % en el separador neumático de fibras. La fibra se separa de la nuez en la columna de desfibración neumática, por la cual pasa una corriente de aire. La columna conduce la fibra hacia un ciclón separador de aire y fibras. Las nueces separadas en la columna pasan a un transportador sinfín, que las lleva a un tambor pulidor, en donde se desprende la fibra que aún está adherida (La desfibración-la palmistería, s.f).
- **Secado de nueces:** La nuez pulida y separada de la fibra es llevada a un silo de almacenamiento “silo de nuez”; el cual cuenta con un ventilador que sopla aire que a su vez es calentado con vapor. El silo es vertical y dispone de canales y conductos que facilitan la circulación del aire. En esta etapa es de suma importancia la temperatura del aire caliente y el nivel del silo de almacenamiento, pues si la nuez tiene una buena deshidratación la cáscara será más quebradiza y se facilitará la trituración (Hamm, Wolf, Richard, Gijs, 2013).
- **Trituración de nueces:** La nuez seca pasa a un tambor clasificador de tamaños, el cual la clasifica en nuez pequeña, mediana y grande, para permitir un ajuste más preciso del grado de rotura. La nuez es triturada en molinos llamados *ripple mill*, cuya finalidad es separar la nuez de la almendra, rompiéndola de manera que la almendra no sufra ninguna transformación. Los *ripple mill* son molinos de rotura, rotatorios y se les llama también de tipo mordazas. El cuerpo está conformado por barras estáticas que están sujetas a un fuerte desgaste el cual es necesario verificar para mantener el equipo en buen estado y operando eficientemente (La desfibración-la palmistería, s.f).
- **Separación neumática:** La descarga del *ripple mill* es una mezcla de almendras, cáscaras y polvo la cual es llevada a una columna de doble separación neumática, en donde se separa la almendra del resto de los componentes de la mezcla. La separación se da por la una

corriente de aire aspirada por un ventilador. En la separación dos variables de gran relevancia son el peso de las partículas y la resistencia que presentan a ser arrastradas por el aire. De la columna se obtienen tres lotes de materiales diferentes:

- ✓ Almendras con algo de nuez entera y partida (impurezas), que salen por la descarga inferior.
- ✓ Cáscaras, fibras y pequeños trozos de almendra partida que salen por la parte superior a través de la descarga del ciclón.
- ✓ Y un tercer lote llamado la interfase, siendo esta una descarga intermedia y que está constituida por almendras pequeñas, nueces pequeñas no rotas y pedazos de cáscaras de mayor tamaño.

El equipo de separación neumática posee una columna doble donde es posible ajustar la velocidad, la cual debe ser controlada con el fin de que la presión con la que la cascarilla es arrastrada por el aire no sea muy alta ni muy baja para garantizar menores pérdidas e impurezas en el producto final (Hamm, Wolf, Richard, Gijs, 2013).

La Figura 1 presenta los trituradores empleados en el proceso.



Figura 1. Equipos para trituración.

4. METODOLOGÍA

En aras de dar cumplimiento a los objetivos del proyecto, esta se desarrolló en cinco etapas, así:

- I. Búsqueda bibliográfica:** Durante el desarrollo de la propuesta se realizó la búsqueda de información concerniente a la influencia de los parámetros operacionales a evaluar sobre el rendimiento del proceso de palmistería, para lo cual se consultó en bases de datos bibliográficas, sitios especializados y publicaciones relacionadas con el área.

II. Identificación de las variables/parámetros de operación que influyen en el proceso:

Antes de realizar cualquier tipo de optimización fue necesario reconocer cuáles son las variables de operación que tendrían una influencia significativa sobre el proceso. De esta manera, se seleccionaron aquellas cuya manipulación es viable dentro de la operación normal ejecutada en la extractora, y que según la literatura conllevan a una mejora del proceso. Se evaluó la influencia de la temperatura de secado de la nuez, la velocidad de aire empleada en la separación neumática y distancia en la que se ubican el rotor de la coraza en el *ripple mil*

III. **Optimización de variables/parámetros de operación:** Una vez seleccionados los parámetros y el rango de operación a evaluar, se empleó un diseño experimental multivariado (**diseño factorial**) y la metodología de superficie de respuesta para determinar aquellas condiciones que, dentro del rango de trabajo, favorecieron la reducción de impurezas y pérdidas en el proceso. En la columna se evaluaron las pérdidas e impurezas realizando modificaciones al área de separación, por manipulación del *damper* manteniendo el flujo constante de aire por el ventilador. Se evaluó el comportamiento de las variables cuando la temperatura en el silo de nuez se modificaba. En el *ripple mil* se modificó la distancia entre el rotor y la coraza. Se seleccionaron 2 niveles experimentales (bajo y alto) para cada factor a evaluar. La Tabla 1 indica los valores evaluados. El número de pruebas contenidas en el diseño experimental fue de 24, las cuales se realizaron por triplicado, de forma aleatoria y los resultados analizados en función de la varianza (ANOVA).

Tabla 1. Niveles experimentales evaluados.

Nivel	Velocidad en la columna (m/s)	Temperatura en el silo (°C)	Distancia del rotor y la coraza (cm)
Alto	12-14	60-65	Menor porcentaje de nuez entera en la mezcla triturada.
Bajo	10-12	33-38	Mayor a porcentaje de nuez entera en la mezcla triturada.

IV. **Desarrollo de un modelo matemático que describa el proceso:** Una de las ventajas de emplear diseños experimentales multivariados, es que su análisis permite la obtención de aquellas condiciones que maximizan o minimizan (según sea el caso) a la variable de

respuesta. Así que luego de realizar los ensayos se obtuvieron dos expresiones polinómicas que permitieran evaluar la influencia de los factores en el proceso.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La Tabla 2 y las Figuras 2, 3 y 4 presentan los resultados obtenidos luego de evaluar el efecto de las variables de interés en el porcentaje de pérdidas másicas de almendra. De los gráficos se observa que **el único factor significativo es la velocidad en la columna neumática**, lo cual estaría asociado al hecho de que al aumentar la velocidad también se incrementa la diferencia de presión en la columna, ocasionando un mayor arrastre de almendra. Caso contrario sucede cuando la velocidad disminuye. Adicionalmente, las columnas de separación son diseñadas para trabajar con una relación sólido-aire de 1:5 aproximadamente (Hernández, 1991), razón por la cual los cambios constantes en el flujo de alimentación podrían causar variación en la separación de los componentes de la mezcla. Un factor adicional que debe ser considerado es el tipo de análisis estadístico ejecutado puesto que no se está teniendo en cuenta el tipo de pérdida de masa (ya sea por nuez entera o partida), sino que busca que esta variable sea baja. La interacción entre la velocidad del aire y la distancia entre el rotor-coraza es el segundo factor con mayor significancia (Figura 2), en este aspecto, se debe tener presente que si cuando se realiza la separación en la columna, la distancia rotor-coraza no está calibrada, la cantidad de nuez partida o de cascarilla con contenido de almendra aumenta, y eleva la posibilidad de generar pérdidas a través del ducto de descarga.

Tabla 2. Matriz experimental ejecutada.

Prueba	Temperatura de secado de la nuez	Distancia de la nuez	Velocidad aire en separación neumática	Porcentaje de pérdidas de masa (%)	Porcentaje de impurezas (%)
1	-1	-1	-1	8.0	13.1
2	1	-1	1	12.6	10.1
3	-1	1	-1	4.0	9.7
4	1	1	1	15.6	6.6
5	-1	-1	1	8.9	10.2
6	-1	1	1	20.5	3.8
7	1	1	-1	4.8	5.8

8	1	-1	-1	2.8	10.7
9	-1	1	-1	3.4	6.3
10	-1	-1	1	10.1	12.8
11	-1	-1	-1	1.6	17.8
12	1	-1	-1	6.2	12.3
13	1	1	1	2.3	2.8
14	1	-1	1	7.8	3.8
15	-1	1	1	1.4	16.6
16	1	1	-1	2.7	4.0
17	-1	1	-1	4.2	7.3
18	-1	-1	-1	5.3	15.0
19	1	1	-1	2.7	6.0
20	1	-1	1	9.3	5.3
21	-1	-1	1	13.2	7.1
22	-1	1	1	10.2	3.6
23	1	-1	-1	4.1	14.2
24	1	1	1	16.2	1.9

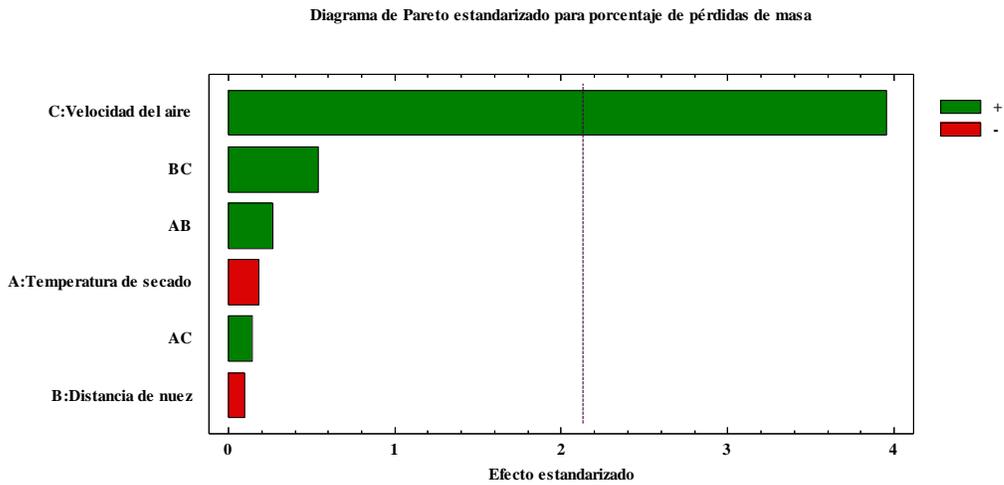


Figura 2. Diagrama de Pareto estandarizado para pérdidas máxicas de almendra.

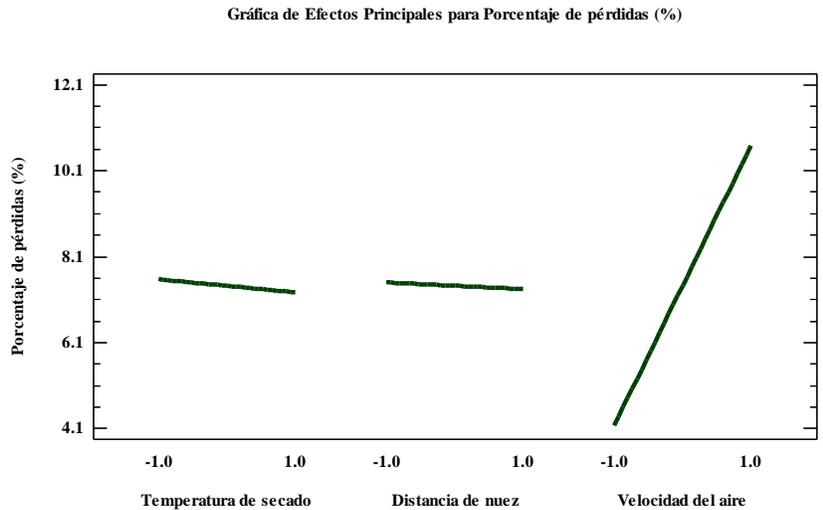


Figura 3. Gráfico de efectos principales para pérdidas másicas de almendra.

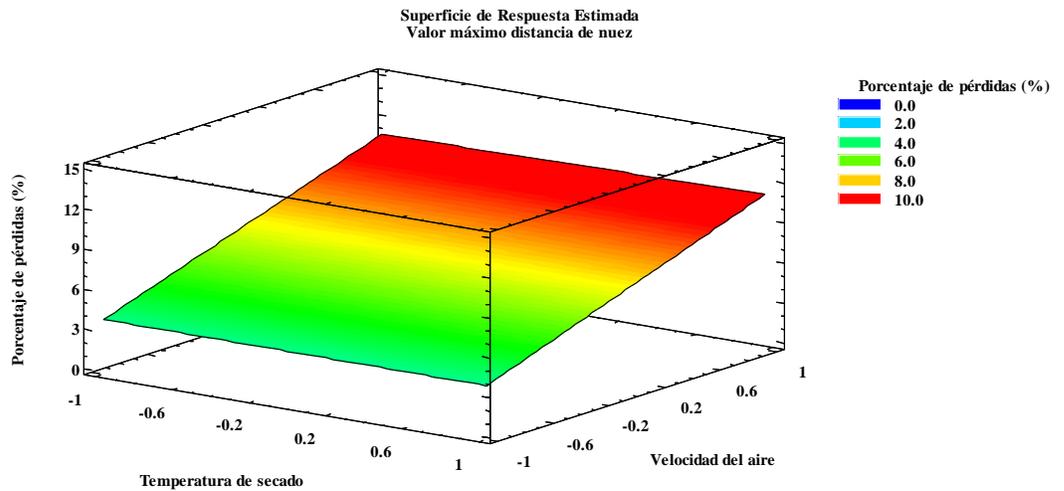


Figura 4. Superficie de respuesta para pérdidas másicas de almendra.

Por otra parte, las Figuras 5 a 7 presentan los resultados concernientes al efecto de las variables operacionales en el porcentaje de impurezas. En este sentido, se encontró que los factores significativos son la distancia rotor-coraza, la temperatura de secado y la velocidad en la columna. La distancia del rotor-coraza es relevante debido a que en este se da la separación de la almendra y la nuez, la cual si se ajusta eficientemente con ayuda de deshidratación previa, permitiría obtener una mezcla con una composición de almendra entera aproximadamente del 39.0%, almendra rota del

6.0%, nuez rota del 14.0%, nuez entera 3.0% y cuesco del 38%, a la salida de los trituradores. En cambio si la distancia rotor-coraza es amplia se eleva el contenido de nuez entera y nuez rota, lo cual incide negativamente en el valor de las impurezas. La mezcla triturada pasa a la columna neumática que es susceptible a cambios ligeros, y de la cual depende gran parte de la eficiencia global del proceso; se evidenció que cuando la columna se opera en niveles altos de velocidad, las impurezas disminuyen, pues se aumenta la presión en la columna, siendo más fácil el arrastre de cascarilla y de la almendra de menor peso.

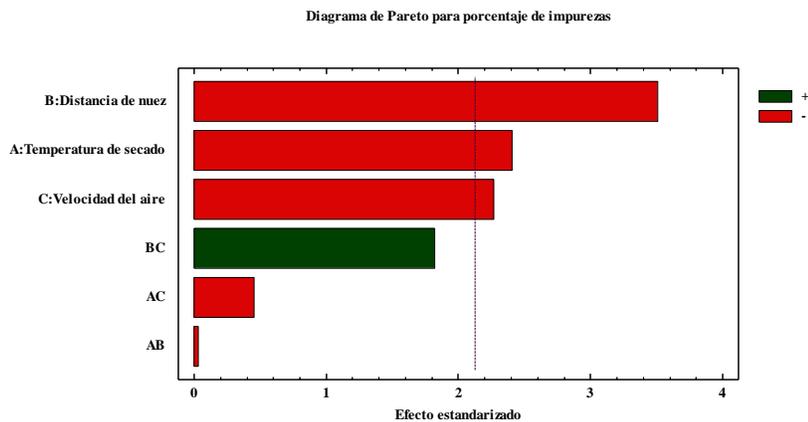


Figura 5. Diagrama de Pareto para porcentaje de impurezas.

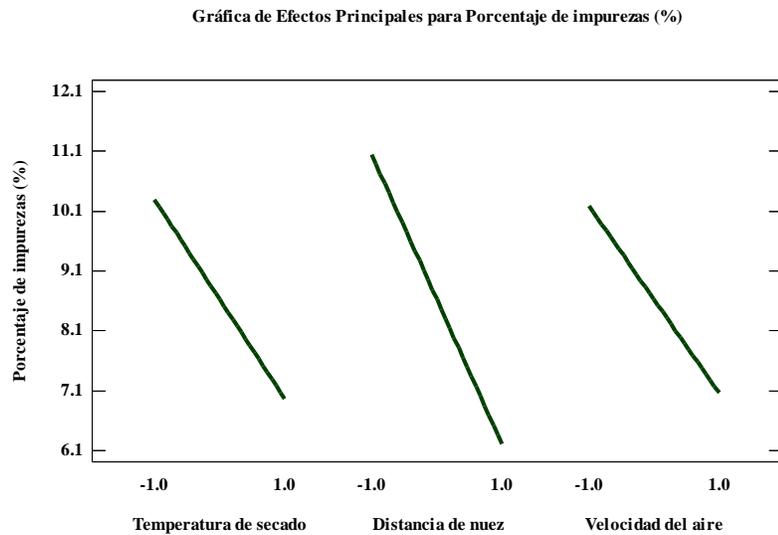


Figura 6. Gráfico de efectos principales para porcentaje de impurezas.

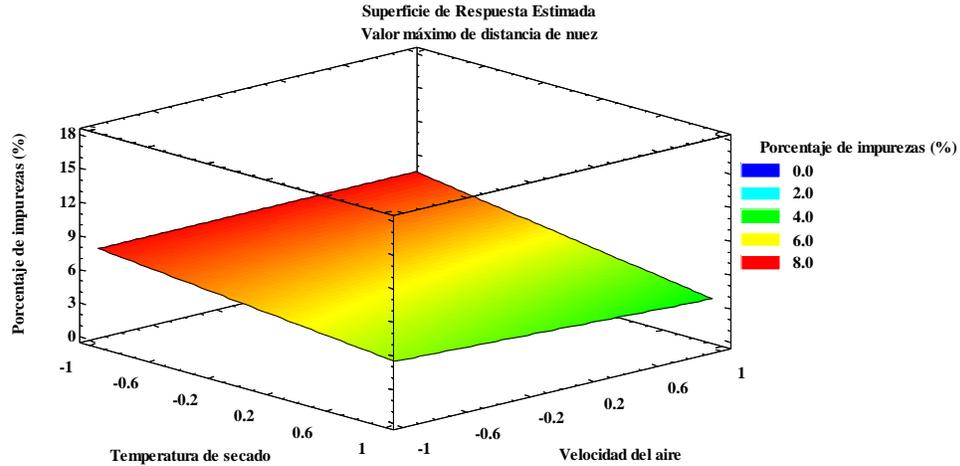


Figura 7. Superficie de respuesta para porcentaje de impurezas.

Un aspecto adicional que debe tenerse en cuenta es el hecho de que si bien se consideraron los efectos sobre las variables de interés, esto se realizó de manera separada, por lo que establecer condiciones de operación optimizadas requiere que se establezca un solo factor de respuesta que involucre tanto pérdidas de masa como presencia de impurezas.

Finalmente, las ecuaciones 1 y 2 presentan los polinomios característicos asociados a ambas variables de respuesta. A partir de las expresiones se pueden establecer las correlaciones entre las variables y su significancia en el proceso.

$$\text{Porcentaje de impurezas (\%)} = 8.62 - 1.66 * \text{Temperatura de secado} - 2.42 * \text{Distancia de nuez} - 1.56 * \text{Velocidad del aire} \quad (1)$$

$$\text{Porcentaje de pérdidas (\%)} = 7.40875 + 3.25875 * \text{Velocidad del aire} \quad (2)$$

Ambos presentan un coeficiente de correlación entre datos experimentales y predichos superior al 60%

6. CONCLUSIONES

La distancia entre el rotor y la coraza está relacionadas con el aumento o disminución de las impurezas de la planta de palmistería, sin embargo al ser un equipo que pierde eficiencia continuamente exige un mayor control en la parte operativa.

El valor óptimo de operación en la columna neumática de velocidad está en el rango de 11-12 m/s, basado no sólo en la pérdida de almendra sino adicionalmente en las impurezas, factor fundamental en la proceso de planta palmiste.

Las pérdidas de almendra se ven levemente afectadas por las variaciones de temperatura y ajuste en los ripples, lo cual sugiere que cambios mínimos en la operación de estos equipos no afectan la cantidad de almendra que sale del proceso. No obstante, el manejo de las estas debe ser en conjunto, ya que no se pueden manejar por separado las fuentes de pérdida sin que las impurezas se vean afectadas, influyendo directamente en la eficiencia del proceso de extracción de aceite de palmiste.

La planta de palmistería debe tener un control específico sobre las variables de los procesos, dado que es compleja la determinación de condiciones específicas de operación, esto se debe principalmente a la discontinuidad del proceso de trituración ya que detiene y se reinicia constantemente de acuerdo con la necesidad de caldera por cascarilla.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmad, Moghis U. (2017). Ácidos grasos Química, síntesis y aplicaciones: Aceite de palma. Prensa American Oil Chemists Society (AOCS). Obtenido de: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011HA301/fatty-acids-chemistry/oil-palm-elaeis-guineensis>.

Cárdenas, A. G. (2017). La agroindustria de la palma de aceite en América. Revista Palmas, 37, 215-228.

Hamm, Wolf Hamilton, Richard J. Calliau, Gijis. (2013). Procesamiento de aceites comestibles (2ª edición). John Wiley & Sons. Obtenido de: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011ARS31/edible-oil-processing/oil-drying>.

Hernández, H. 1991. Manejo de sólidos y separación de sólido-líquido. Bucaramanga, 156 p. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química.

La desfibración-la palmistería, s.f. Obtenido de <https://cultivopalma.webcindario.com/desfibra.htm>.

Lai, Oi-Ming Tan, Chin-Ping Akoh, Casimir C. (2012). Aceite de palma: Producción, procesamiento, caracterización y usos: Desarrollos en tecnologías de procesamiento de palma de aceite. Prensa American Oil Chemists Society (AOCS). Obtenido de:

<https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00AQ49D5/palm-oil-production-processing/developments-in-oil-palm>.

Nuestro negocio. (2014). División industrial. Obtenido de <https://www.haciendalagloria.com/portal/nuestro-negocio/>

Rizvi, Syed SH. (2010). Procesos de separación, extracción y concentración en las industrias alimenticia, de bebidas y nutracéutica: Tendencias futuras. Publicaciones Woodhead. Obtenido de: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00950ES5/separation-extraction/separation-future-trends>

Sivasothy, K., Ma, A. N., Maycock, J. H., & Kiochiro, Y. (1994). Proceso combinado de esterilización y desfrutado. Revista Palmas, 15(1), 61-66.

Velayuthon, A. (1997). Procesamiento y Control de Aceite de Palma. Editorial Palmas, 18(1), 19-33.