

Optimización del rendimiento del algodón-fibra mediante un modelo de regresión a partir de las condiciones de entrada y de proceso en la fase de desmote

Yield optimization of cotton fiber, using a regression model based on the conditions of entry and process at the stage of ginning

Álvaro Gómez Osorio*

Universidad de Córdoba (Colombia)

Marco E. Sanjuán Mejía**

Universidad del Norte (Colombia)

* Magíster en Ingeniería Industrial, Universidad del Norte (Colombia). Profesor de tiempo completo, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Córdoba (Colombia). ajosegomez@correo.unicordoba.edu.co

** Doctor en Ingeniería Mecánica, Universidad del Norte. Associate Professor and Center CIMM, Director Mechanical Engineering Department. msanjuan@uninorte.edu.co

Correspondencia: Álvaro Gómez, Carrera 8b n.º 13-54. Urbanización Lacharme. Montería, Colombia. Teléfono: +57 (4) 7896592.

Origen de subvenciones: Esta investigación forma parte del proyecto titulado "Optimización del rendimiento del algodón-fibra mediante un modelo de regresión a partir de las condiciones de entrada y de proceso en la fase de desmote", desarrollado en la Maestría en Ingeniería Industrial de la Universidad del Norte.

Resumen

En la presente investigación se diseñó y programó una metaheurística híbrida entre un simulado recocido (SA) y un enjambre de partículas (PSO). Se aplicó un modelo de regresión no lineal que predice el rendimiento del algodón-fibra, obtenido a partir del algodón-semilla en el desmote. Para el desarrollo de este modelo se analizaron las condiciones y factores de entrada y de proceso inherentes a 707 lotes de algodón-semilla desmotados durante la cosecha 2009-2010, a los cuales se les consideró un total de nueve variables (seis binarias y tres enteras), permitiendo, de esta forma, evaluar el rendimiento óptimo esperado y establecer márgenes de productividad tanto para agricultores como para la empresa desmotadora. Se demostró que el rendimiento del algodón-semilla se ve afectado negativamente por factores como: la variedad del lote, el nivel de la humedad y el nivel de suciedad con el que ingresa el lote, los grados de temperatura aplicados en el proceso y el uso de limpia fibras.

Palabras clave: algodón-fibra, algodón-semilla, metaheurística híbrida, rendimiento de algodón-fibra, rendimiento de algodón-semilla.

Abstract

The yield and quality of cotton fiber obtained in the ginning process, determine the income for the farmer, the gin productivity and performance of the fiber in the process of industrialization. In this research, it was designed and programmed a hybrid metaheuristic between the simulated annealing (SA) and swarm particle (PSO) applied to a nonlinear regression model that predicts the performance of cotton fiber, made from cotton seed in ginning.

To develop the model, input and process inherent to the conditions and factors to the 707 batches of seed cotton were analyzed during harvest ginning between 2009 and 2010, to which a total of 9 variables were considered (six and three binary integer), the development of this model allows to evaluate the expected performance and productivity set margins for farmers and for ginning enterprises.

It was shown, that the seed cotton yield is adversely affected by such factors as: the variety of batch humidity as well as filth level, temperature levels applied in clean fibers process.

Keywords: cotton fiber, cotton fiber yield, cotton seed, hybrid metaheuristic, seed cotton yield.

Fecha de recepción: 3 de junio de 2013
Fecha de aceptación: 6 de octubre de 2013

1. INTRODUCCIÓN

La calidad y el rendimiento en el algodón-fibra son variables que hoy día adquieren igual importancia en el estudio de la cadena algodón-textil-confecciones, puesto que el ingreso por tonelada que recibe el agricultor está determinado por el rendimiento en algodón-fibra obtenido y por las condiciones tecnológicas de calidad de la fibra resultante. En este sentido, la industria textil exige cada día más fibras de algodón con condiciones tecnológicas de calidad óptimas para el proceso de hilandería.

Ahora bien, la mayoría de los estudios desarrollados para optimizar el rendimiento del algodón se han enfocado en el rendimiento del algodón-semilla, es decir, estas investigaciones han hecho especial énfasis en la evaluación del rendimiento en el campo, analizando variables que tienen efecto sobre el rendimiento en el mismo, como la cantidad de fertilizantes, el espacio entre surcos, el clima, la cantidad de agua, el tratamiento genético de la semilla y, en general, las prácticas de cultivo que inciden directa o indirectamente sobre el rendimiento del algodón-semilla y su posterior transformación en algodón-fibra [1],[2].

Tabla 1. Diferencias básicas entre el algodón-fibra y el algodón-semilla

	Algodón-semilla	Algodón-fibra
Propiedad	Es el algodón obtenido directamente de la planta con las semillas adheridas a la fibra.	Es el obtenido en el proceso de desmote.
Medida del rendimiento	RENDIMIENTO EN CAMPO Se mide mediante la relación: cantidad de algodón-semilla recolectado / ha cultivadas.	RENDIMIENTO EN FIBRA Se mide mediante la relación cantidad de algodón-fibra obtenido en el proceso de desmote / cantidad de algodón-semilla ingresado al proceso.

Fuente: elaboración propia.

De las investigaciones realizadas con el fin de optimizar el rendimiento del algodón son escasas las que buscan medir el rendimiento y la productividad del algodón-fibra, medido este como un porcentaje del algodón-semilla que ingresa al proceso de desmote. Son pocos los estudios realizados con el fin de determinar cuáles son los factores inherentes al proceso de desmote que repercuten en el rendimiento del algodón-semilla. Dicha ausencia de investigaciones en este sentido ofrece tanto la oportunidad para adelantar

el presente estudio como también la de crear acciones para el desarrollo productivo de la cadena algodón-textil-confecciones.

En este orden de ideas, en la presente investigación se ajusta un modelo de regresión no lineal, y una vez ajustado, se resuelve con el *software* GAMS bajo un modelo de programación no lineal relajado (RMILP) para, de esta forma, hallar las condiciones del lote de algodón-semilla que entran al proceso de desmotado (variedad, grado de humedad, nivel de impurezas) y las condiciones del proceso (grados de temperatura y aplicación de limpia-fibras) que optimizan el porcentaje de algodón-fibra obtenido en el proceso de desmote. Así, la desmotadora puede pronosticar el rendimiento del lote de algodón-semilla de acuerdo con las condiciones de entrada y las aplicadas en el proceso. Con esto se ve beneficiado el agricultor, puesto que podrá predecir el rendimiento en fibra, dada la variedad del algodón que cultivó, el grado de humedad del lote recolectado y el nivel de material extraño presente en el lote del algodón-semilla. También la desmotadora elevará su productividad al aplicar estrictamente el nivel de temperatura requerido e igualmente no tendrá que efectuar operaciones extra de limpieza, sólo aplicará el número de limpia-fibras deseado.

Para esta investigación se analizarán las variables inherentes al lote que ingresa a la desmotadora y las aplicadas en el proceso de desmote, por tanto, no se tendrán en cuenta las condiciones climatológicas y las prácticas de cultivo que inciden en el rendimiento del algodón-semilla y, de manera lógica, en el algodón-fibra.

2. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el estudio en discusión, se realizó una investigación no experimental de tipo transaccional y de carácter correlacional, la cual se centró en el análisis de las variables que pueden afectar el rendimiento del algodón describiendo las relaciones entre las mismas en un momento determinado [3].

Lo anterior se enmarca en la ejecución de un problema de optimización multiobjetivo (MOP) que constituye la búsqueda simultánea de soluciones óptimas o cercanas al óptimo, dadas algunas funciones objetivo conflictivas. Formalmente, un MOP consiste en:

Maximizar / minimizar el vector función

$$f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)] \quad (1)$$

Sujeto a J restricciones de desigualdad y K restricciones de igualdad, así:

$$g_j(x) \geq 0, j = 1, 2, \dots, J \quad (2)$$

$$h_k(x) = 0, k = 1, 2, \dots, K \quad (3)$$

Donde $x=[x_1, \dots, x_n] \in \Omega$ es el vector de variables de decisión y Ω es el espacio de búsqueda [4].

Para varias funciones objetivo la noción de solución óptima es diferente a la de un problema monoobjetivo, puesto que su finalidad es hallar una buena frontera de soluciones entre las funciones objetivo. En este caso, la noción de optimización más comúnmente adoptada está basada en la dominancia de Pareto¹.

Por otra parte, debido a la complejidad del problema abordado en este estudio, se diseñó, programó, y aplicó una metaheurística **híbrida**. Con esta herramienta los parámetros analizados no requieren de supuestos y ofrecen la posibilidad de obtener un óptimo global.

Definición del modelo

El modelo está basado en una nueva serie de tiempo para pronóstico, propuesta en [5], la cual sigue un modelo de regresión no lineal que contiene una gran flexibilidad para adaptarse a cualquier cantidad de datos sin tener en cuenta supuestos anteriores sobre el comportamiento real de estos y sobre la función objetivo. Esta propuesta suele ser utilizada en forma generalizada para alcanzar el ajuste más adecuado para los datos. El objetivo principal

¹ Se dice que x es una solución óptima de Pareto si y solo si $\nexists y: y \preccurlyeq x$. Es decir, la solución x es óptima de Pareto si no existe ninguna otra solución que la domine. En el conjunto óptimo de Pareto, el PS = $\{x | \nexists y: y \preccurlyeq x\}$ corresponde al conjunto de todas las soluciones que no son dominadas por ninguna otra.

de la regresión es encontrar la mejor $Y = F(X) + \varepsilon_i$ para una serie de datos en la que Y es la variable dependiente medida por la experiencia y X es la variable independiente. F es una función para describir la relación entre X y Y , que consiste en uno o más parámetros y E_i es el error de observación de una distribución normal con media cero [5], [6].

Establecimiento de parámetros y ajustes al modelo

El modelo de referencia para la presente investigación se estructuró y definió por un número de componentes que dependen del número de variables (factores) independientes usados para predecir la variable dependiente. Para este caso, el modelo quedó definido por nueve componentes, uno por cada variable, seis binarias y tres enteras. Es decir, al transformar el modelo mostrado en [5], se obtiene el siguiente:

$$f(X) = \frac{b_0 + \sum_{i=1}^5 b_i X^{abs(a_i)} + b_6^{abs(a_6 X)} + b_7 \sin(a_7 X) + b_8 \cos(a_8 X)}{c_1 + c_2 * (f_1(x)) + c_3 * (\ln(abs(b_0 + \sum_{i=1}^5 b_i X^{abs(a_i)})) + 1)} \quad (4)$$

$$f_1(x) = b_0 + \sum_{i=1}^5 b_i X^{abs(a_i)} + b_6^{abs(a_6 X)} + b_7 \sin(a_7 X) + b_8 \cos(a_8 X) \quad (5)$$

Para evaluar el mejor modelo que relaciona la variable dependiente y las independientes se toma como función objetivo la combinación del $R^2_{ajustado}$ y el índice U_r , a partir de la cual se obtiene el conjunto de Pareto. De esta manera, el modelo matemático utilizado para tal efecto es el siguiente:

$$Max [F(U_i, R^2_{ajustado})] = (-\lambda) * U_i + (1 - \lambda) * R^2_{ajustado} \quad (6)$$

Sujeto a:

$$\text{valor P de } DW^2 \geq 0.05 \quad (7) \quad \text{valor P de } SW^3 \geq 0.05 \quad (8)$$

Donde λ tomará valores entre 0 y 1, mostrados a continuación.

² DW: Prueba de independencia de Durbin-Watson, se realiza para detectar la no correlación en los errores

³ SW: Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, se realiza para evaluar la normalidad del conjunto de datos.

$$\lambda [0.0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 \text{ y } 1.0] \quad (9)$$

Para lo anterior, el índice U_i está determinado por:

$$MSE^4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{\epsilon}^2 \quad (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \hat{\epsilon}^2} \quad (11)$$

$$U_i = \frac{RSME}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_t + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_t}} \quad (12)$$

Este criterio toma valores entre 0 y 1, mientras más cercano esté a cero indica que el ajuste de los datos es mejor, por lo tanto nos da un mejor Fitness.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=0}^n (y_t - F_t)^2}{\sum_{i=0}^n (y_t - \bar{y})^2} = \frac{SS_R}{SS_{total}} = 1 - \frac{SS_e}{SS_{total}} \quad (13)$$

El coeficiente múltiple de determinación R^2 es una medida que indica el nivel de ajuste del modelo a los datos. Un ajuste perfecto daría como resultado $R^2 = 1$; uno muy bueno daría como resultado un valor cercano a 1; y uno muy pobre se relaciona con un valor de R^2 cercano a cero; por tanto, al realizar el ajuste se obtiene lo siguiente:

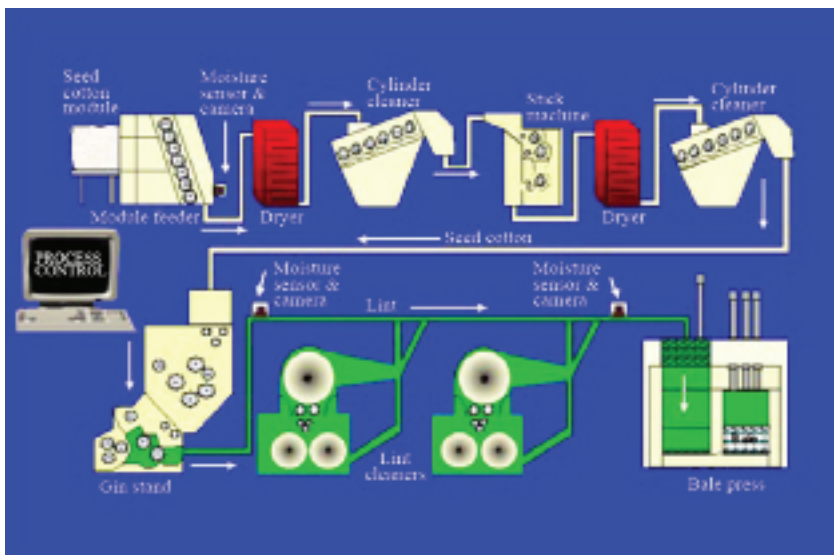
$$R^2_{ajus} = \frac{(k - 1)}{(n - k)} * (1 - R^2) \quad (14)$$

Donde n es el tamaño de la muestra y k el número de variables independientes. Cuando el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (R^2) es utilizado, se presenta el inconveniente de que en la medida en que se incrementa el número de variables del modelo, mayor será el valor de R^2 ; por tal razón es recomendable utilizar el coeficiente de determinación ajustado $R^2_{ajustado}$.

⁴ El cuadrado medio del error, estimador insesgado de la varianza de los errores.

Definición de variables de diseño y repuesta

Las variables consideradas para modelar el rendimiento en la presente investigación fueron las identificadas en [7],[8], sobre las cuales se considera que afectan el rendimiento en el algodón-fibra obtenido en el proceso de desmote. Los niveles y valores para cada variable fueron medidos directamente del lote que ingresó a la desmotadora y las condiciones con las que fue desmotado. En ninguna fase del proceso se manipularon los valores de las variables con el fin de analizar comportamientos.



Fuente: USDA.

Gráfica 1. Proceso de obtención del algodón-fibra.

La gráfica 1 muestra el proceso interno de una desmotadora, descrito en [9]. Para obtener el algodón-fibra, en las secadoras (*drier*), se fija la temperatura de secado y en los limpia-fibras (*lint cleaners*) se define el número a aplicar al lote de algodón-semilla que se desea desmotar. Ahora, las variables siguientes: variedad del algodón, materia extraña y nivel de humedad, son medidas al momento de ingresar el lote a la desmotadora.

La tabla 2 describe las variables de diseño y los niveles considerados en el presente estudio.

Tabla 2. Variables de diseño

Variable		Descripción	Tipo
Variedad del algodón	OPAL	Grupo genético al que pertenece el lote de algodón que ingresa al proceso, dado por el nombre comercial de la semilla.	Binarias
	DP164		
	M123		
Materia extraña	MEA Bajo contenido suciedad	Cualquier sustancia extraña presente en el algodón-semilla, como: cacota, tabaquillo, palos, pasto, entre otros.	Binarias
	MEB Contenido medio de suciedad		
	MEC Alto contenido de suciedad		
Nivel de humedad (HE). Se consideraron 5 niveles de humedad (12, 14, 16, 18 y 20).		Cantidad de humedad expresada en términos de porcentaje (%), presente en el algodón momentos previos al proceso de desmote.	Entera
Número de limpia-fibras aplicados (NLF). Se analizaron lotes donde se aplicaron: 0, 3, 4, 5 y 6 limpia-fibras.		Cantidad de limpia-fibras utilizada en la limpieza después de la etapa de desmote.	Entera
Temperatura de secado durante el proceso (TP). Se analizaron 7 niveles de temperatura diferentes. (30, 50, 60, 80, 110, 130 y 160).		Temperatura medida en grados centígrados (°C), en el tubo de aire caliente de secado y transporte que lleva el algodón desde el control de alimentación hasta la torre de secado.	Entera

Fuente: elaboración propia.

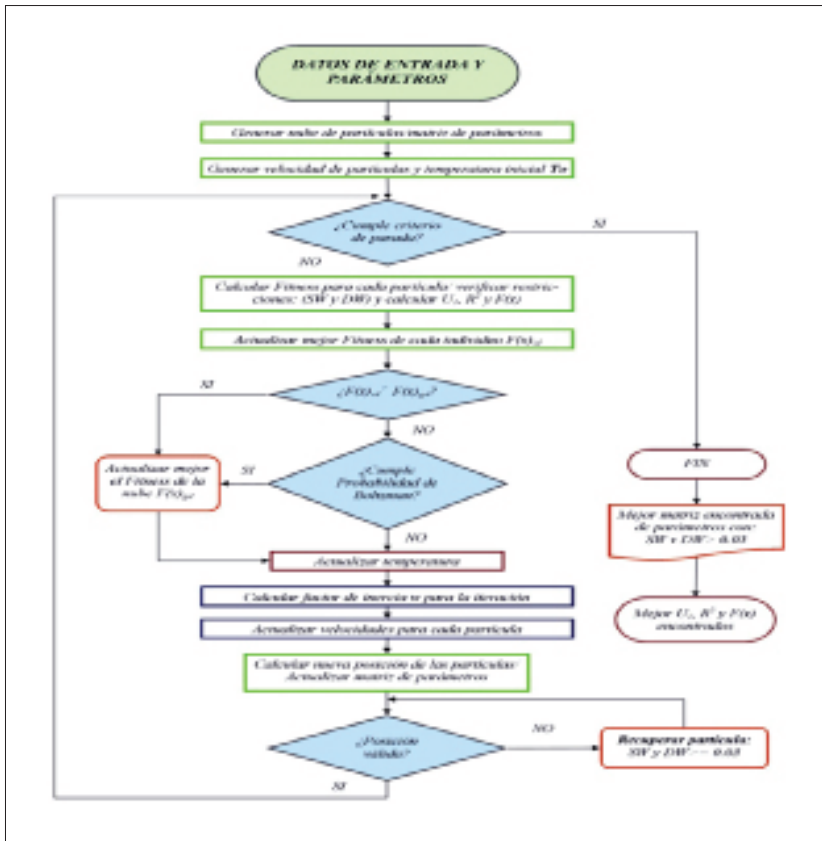
Variable de respuesta: Corresponde al rendimiento (% de fibra) que se desea estudiar bajo la incidencia de las variables independientes anteriormente descritas. Es el porcentaje de fibra que se obtiene luego de desmotar un lote de algodón, y se calcula dividiendo el peso de la fibra obtenida entre el peso total del lote sin desmotar.

Desarrollo de la metaheurística híbrido

El método metaheurístico híbrido seleccionado para estimar los parámetros del modelo de regresión fue propuesto por Behnamian y Fatemi Ghomi [5]. Dicho método constituye la mezcla de dos metaheurísticas (ver diagrama de flujo): el de enjambre de partículas (PSO) y el recocido simulado (SA). Este algoritmo realiza varias combinaciones de los parámetros del modelo de regresión descrito en la ecuación (4), con el fin de evitar una selección inadecuada de un modelo que no cumpla los supuestos de independencia y normalidad de los residuos (el modelo descrito no requiere el cumplimiento del supuesto de homocedasticidad).

De la búsqueda realizada se selecciona el modelo que presenta mejor ajuste. Ahora bien, como se puede observar, durante el proceso de búsqueda híbrido, PSO ofrece soluciones iniciales para recocido simulado. De tal manera, es importante señalar que la búsqueda local basada en el SA sólo se aplica a la mejor solución encontrada hasta el momento. En la búsqueda local, el esfuerzo computacional no es muy grande, puesto que sólo se aplica a la mejor solución encontrada (g_{best}). Una vez que la búsqueda local basada en el SA se ha completado, el g_{best} de todo el enjambre es actualizado.

Se puede observar también que el algoritmo de la metaheurística híbrida (HMH) aplica PSO basado en el mecanismo de búsqueda evolutiva para llevar a cabo con eficacia la exploración de soluciones prometedoras dentro de toda la región, además aplica SA basado en métodos de búsqueda local para mejorar la solución.



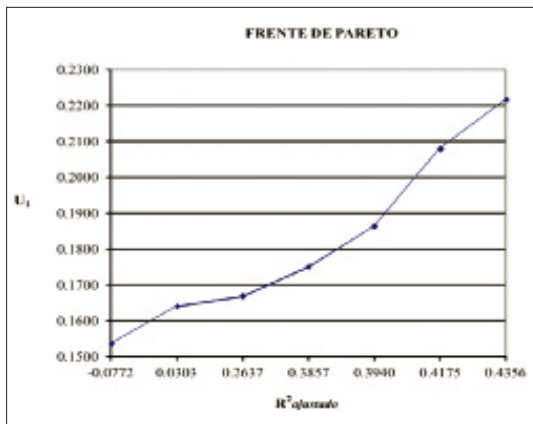
Gráfica 2. Diagrama de flujo de algoritmo híbrido.

3. RESULTADOS

La ejecución de la metaheurística desarrollada permitió obtener una serie de modelos, uno para cada calor, la constante λ (ver tabla 3). Con la prueba de normalidad (SW) e independencia⁵ (DW) de los datos analizados se corroboró que los residuales provenían de una distribución normal y no existía correlación de los mismos ordenados en el tiempo. Asimismo, al contemplar los conceptos de dominancia de Pareto, según los cuales no se busca una solución óptima sino un conjunto de soluciones eficientes, se encontró el conjunto respectivo para los modelos resultantes no dominados (ver gráfica 3).

Tabla 3. Modelos resultantes no dominados-conjunto de Pareto

Valor de λ			f(x)	Normalidad prueba SW valor-P	Independencia prueba DW valor-P
1,0000	-0,0772	0,1536	-0,1536	0,0757	0,3713
0,9000	0,0303	0,1640	-0,1445	0,2509	0,7349
0,6000	0,2637	0,1669	0,0054	0,0684	0,5296
0,3000	0,3857	0,1750	0,2175	0,2017	0,7843
0,5000	0,3940	0,1863	0,1038	0,1899	0,6600
0,1500	0,4175	0,2079	0,3237	0,0504	0,5788
0,2500	0,4356	0,2217	0,2713	0,0905	0,7034



Gráfica 3. Frente de Pareto.

⁵ Aplicación de pruebas Shapiro-Wilk y Durbin-Watson a los datos obtenidos.

Analizados los modelos no dominados incluidos en el frente de Pareto, se toma como el principal el que optimiza el rendimiento en el algodón-fibra $\lambda=0.25$: puesto que presenta el mayor $R^2_{ajustado} = 43.56\%$ y cumple con los supuestos de independencia y normalidad. De esta manera, el modelo de regresión no lineal que optimiza el rendimiento del algodón-fibra queda determinado por:

$$Max Rend = [(-1.436192498)*(C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7+C8+C9)] \quad (17)$$

Sujeto a:

$$160 \leq TP \leq 30 \quad (18)$$

$$6 \leq NFL \leq 0 \quad (19)$$

$$20 \leq HE \leq 12 \quad (20)$$

$$MEA + MEB + MEC \geq 1 \quad (21)$$

$$OPAL + DP164 + M123 \geq 1 \quad (22)$$

$$MEA, MEB, MEC, OPAL, DP164, M123 = 0 \text{ ó } 1 \quad (23)$$

Una vez seleccionado el modelo y agregadas las restricciones (ecuaciones 17-22), se resuelve usando para tal efecto el *software* GAMS⁶, bajo las condiciones de un modelo de programación no lineal entera relajada (RMINLP), el cual arrojó el rendimiento óptimo del algodón-fibra e indicó las combinaciones de las variables de entrada y de proceso que maximizaron dicho rendimiento (ver tabla 4). De acuerdo con esto, se tiene como resultado que el rendimiento máximo estimado (RME) de 45,47% en la corrida 5 se obtuvo con la variedad de algodón M123, que ingresó a la desmotadora con el menor nivel de materia extraña (MEA), 12 grados de humedad (HE), desmotado a un nivel de temperatura de 30°C y sin aplicación de limpia-fibras; así mismo, las variables de proceso (TP, NLF) que estuvieron bajo control del técnico de desmote se mantuvieron en los niveles más bajos, independientemente del tipo de variedad que llegó a la desmotadora, garantizando una llegada con el mínimo nivel de humedad (6% y 8%).

⁶ *General Algebraic Modelling System.*

Tabla 4. Rendimientos estimados para el modelo ideal

Variables	Corrida								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
MEA	1	0	0	0	1	0	0	0	1
MEB	0	1	0	1	0	0	0	1	0
MEC	0	0	1	0	0	1	1	0	0
OPAL	1	0	0	0	0	1	0	1	0
DP164	0	1	0	0	0	0	1	0	1
M123	0	0	1	1	1	0	0	0	0
HE	12	12	12	12	12	12	12	12	12
TP	30	30	30	30	30	30	30	30	30
NLF	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RME	42,309	40,468	44,416	44,662	45,470	41,255	40,222	41,501	41,276

Al modelo seleccionado se le realizaron corridas para diferentes combinaciones de valores de las variables humedad, temperatura de proceso y aplicación de limpia-fibra, lo que arrojó las siguientes conclusiones:

- **Nivel de humedad en el lote.** El rendimiento máximo esperado para cualquiera de las tres variedades de algodón analizadas se obtiene si el lote se ingresa a la desmotadora con niveles de humedad bajos, es decir, entre 6% y 12%, con nivel de material extraño tipo A, y la operación de desmote se efectúa a una temperatura de 30° y no se aplica limpia-fibras.
- **Temperatura de proceso.** Como resultado de las modificaciones del nivel de temperatura en cada corrida de implementación del modelo de regresión, se encontró que al aumentar la temperatura de procesos en el cuerpo desmotador, el rendimiento disminuye y esta disminución no es constante de un nivel a otro dentro de cada una de las combinaciones de variedad y materia extraña a partir de la llegada del lote a la desmotadora con niveles entre el 6% y 8% de humedad.
- **Aplicación de limpia-fibras:** En la cuantificación del efecto de la aplicación de limpia-fibras se evidenció que a medida que se aplicaba mayor número de este producto, el rendimiento en fibra disminuía, partiendo de la base de que el lote llegó a la desmotadora con un nivel de humedad entre 6%

y 12%, y es desmotado a niveles de temperatura que oscilaban entre 30° y 40° centígrados.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La implementación del método de metaheurística híbrida (recocido simulado y partícula de enjambre), enmarcado en el concepto de dominancia de Pareto, puede ser considerado como una herramienta de gran utilidad y eficiencia para ajustar y predecir fenómenos cotidianos que incluyen diferentes tipos de variables. De esta forma, se corroboró que el rendimiento del algodón-fibra obtenido a partir del algodón-semilla en el proceso de desmote depende de variables como: variedad de algodón, porcentaje de humedad en el lote que llega a la desmotadora, nivel de suciedad con el que ingresa el lote, grados de temperatura aplicados en procesos de desmote y la aplicación de limpia-fibras.

El modelo presentado se desarrolló utilizando datos reales obtenidos en procesos de desmote. Por tanto, se ajusta al sistema productivo vigente. En trabajos futuros se podrá ajustar y validar el modelo para nuevas cosechas.

Los ingresos que obtiene el agricultor de algodón en su actividad se afectan por el rendimiento del algodón-fibra y las variables tecnológicas de calidad de la fibra. Estas variables son afectadas en el proceso de desmote y se comportaron antagónicamente: se obtuvo una fibra de alta calidad y, a la vez, una desmejora en los rendimientos en ella. Por tanto, se deben buscar y ajustar modelos que busquen un equilibrio entre el rendimiento y la calidad de la fibra obtenida en procesos de desmote.

Finalmente, se concluye que para la obtención de óptimos rendimientos en la labor de la agricultura se debe sembrar variedad de algodón tipo M123, y realizar prácticas de recolección que le permitan al agricultor recoger algodones completamente libres de suciedad o impurezas, garantizando así que este procedimiento se lleve a cabo en condiciones en las cuales los niveles de humedad (HE) sean bajos; además, durante el proceso de desmote se deben aplicar temperaturas en el menor nivel permitido y no hacer uso de limpia fibras.

Agradecimientos

Para los autores es muy importante resaltar los aportes que el ingeniero Jorge Mario López Pereira, adscrito al Departamento de Ingeniería Industrial, realizó para la ejecución de este proyecto, así como el apoyo de Yeraldin Marín González, estudiante del mismo programa.

REFERENCIAS

- [1] A. Montenegro, J. Paz, and P. Fernández, "Evaluación de la calidad de fibra de algodón por parámetros tecnológicos y comerciales", *Idia XXI. Cultiv. Ind.*, vol. 8, n.º 10, pp. 141-144, 2008.
- [2] R. K. Byler, G. R. Gamble, and J. C. Boykin, "Quality effects from the addition of moisture to seed cotton with two surfactants", *J. Cotton Sci.*, vol. 356, pp. 345-356, 2008.
- [3] R. H. Sampieri, C. Fernández Collado and P. B Lucio., *Metodología de la investigación*, 4th ed. México: Mc Graw Hill, pp. 183-294, 2006.
- [4] C. T. Ragsdale and D. R. Plane, "On modeling time series data using spreadsheets", *Omega*, vol. 28, n.º 2, pp. 215-221, abril 2000.
- [5] J. Behnamian and S. M. T. Fatemi Ghomi, "Development of a PSO-SA hybrid metaheuristic for a new comprehensive regression model to time-series forecasting", *Expert Syst. Appl.*, vol. 37, n.º 2, pp. 974-984, marzo 2010. DOI:10.1016/j.eswa.2009.05.079
- [6] R. Rasmussen, "On time series data and optimal parameters", *Omega*, vol. 32, pp. 111-120, 2004.
- [7] A. Montenegro, J. Paz, and P. Fernández, "Evaluación de técnicas de desmote y calidad de fibra del sistema de cosecha stripper", *Idia XXI. Cultiv. Ind.*, vol. 8, n.º 10, pp. 123-128, julio 2008.
- [8] J. C. Torres and A. Agamez, "Pruebas de rendimiento de variedades comerciales de algodón de fibra media", *Corpoica*, pp. 1-19, 2003.
- [9] C. de I. N. Corpoica, *El Algodonero, manejo integrado del cultivo en Colombia*, Primera. El Espinal, Tolima: Corpoica, C.I. Nataima, pp. 180-183, 2005.