

**Generación de la formulación de color en un producto textil mediante redes
neuronales artificiales**
**Generation of color formulation in a textile product through Artificial Neural
Networks**

Laura Delia de Jesús Zavala Ortiz¹

José Antonio Vázquez López²

Paloma Teresita Gutiérrez Rosas¹

Moisés Tapia Esquivas¹

¹ Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México en Celaya, Celaya Guanajuato

² Subdirección académica, Tecnológico Nacional de México en Celaya, Celaya Guanajuato

Autor para correspondencia: Laura Delia de Jesús Zavala Ortiz, E-mail: lauradelia.zavala.ortiz@gmail.com.mx

Resumen

El color es una característica indispensable en la calidad de diversos productos, para lograr una apropiada coloración es necesario determinar la proporción de colorantes requeridos para conseguir una exacta coincidencia del color que se desea. En la industria textil, el desarrollo de una apropiada coloración es un estándar de calidad indispensable, ya que genera un impacto directo en el nivel de agrado de un producto. Actualmente en la industria textil, el desarrollo de la formulación de color depende de un maestro colorista, por lo que este proceso es altamente subjetivo, pues depende de la experiencia del colorista para lograr una coincidencia de color en función de su apreciación. A su vez, la evaluación visual del color depende de factores ambientales como: tipo de iluminación, la incidencia de la luz y el color de fondo empleado.

Debido a la subjetividad y poca estandarización de la formulación del color en la industria textil, es necesario el desarrollo de nuevas técnicas que permitan generar formulaciones de color más exactas. Las redes neuronales artificiales (RNA) son herramientas inteligentes que pueden ser entrenadas para imitar la forma de trabajo de los coloristas, permitiendo así la minimización del error entre el color a desarrollar y un color objetivo. Con una RNA es posible generar recetas de color óptimas, de una manera más rápida y continua dentro de un proceso de fabricación. Para eliminar la subjetividad de la evaluación visual del color, la RNA puede ser alimentada con datos colorimétricos precisos del objeto bajo estudio. En el presente trabajo se presenta el uso de una RNA de retro propagación de 3 capas, que genera formulaciones de color para productos textiles a partir de coordenadas de color L , a^* , b^* proporcionadas por un colorímetro. El coeficiente de determinación R total obtenido por la RNA propuesta fue de 0.99776 obteniendo un medio cuadrado del error de 0.0016 y 0.0019 en mililitros respectivamente para los colorantes empleados.

Introducción: La evaluación del color es un estándar de calidad de suma importancia, el cual incide en el nivel de aceptación o rechazo de diversos productos en el sector industrial (Li, Wang, & Jing, 2015). En la industria textil uno de los más importantes procesos es el desarrollo de una coloración apropiada para teñir cierto tipo de tejido por medio de la generación de recetas de color adecuadas (Furferi & Carfagni, 2010). La valoración del color en la industria textil depende en mayor medida de la evaluación visual del producto, la cual es altamente subjetiva, debido a que la percepción del color se ve afectada por diversos factores ambientales así como el entrenamiento del evaluador. Actualmente se han desarrollado diversos métodos para el análisis de la percepción del color. En éstos se han empleado técnicas y herramientas de inteligencia artificial, como son las RNA (Li, Wang, & Jing, 2015).

El presente artículo propone el desarrollo de un sistema para la obtención de recetas de color, en el cual se empleó una RNA de retro propagación para generar formulaciones de color que presenten poca variación con base a un patrón de color establecido, empleando como instrumento de medición un colorímetro, esto debido a su bajo costo en relación con el espectrofotómetro para obtener las coordenadas colorimétricas de evaluación del color que permitieron entrenar a la RNA empleada, disminuyendo así la subjetividad de la evaluación y formulación del color, al emplear técnicas instrumentales dentro del proceso.

Método: Para el presente artículo, teniendo como base tela de algodón y 2 pigmentos tipo cubas (color azul y amarillo), se generaron 4 muestras colorimétricas correspondientes a 5 formulaciones propuestas, las cuales se replicaron 4 veces, obteniéndose así un total de 20 unidades experimentales, de las que se generaron un total de 840 datos colorimétricos (correspondientes a los vectores L , a^* , b^* del espacio de color CIELAB); estos datos fueron analizados para determinar si presentaban diferencias significativas que pudieran influir en el desempeño de la red en la formulación del color; concluido este análisis los datos fueron empleados para entrenar una RNA de retro propagación.

La RNA fue analizada con 5, 10, 15 y 20 neuronas en la capa oculta, para determinar la mejor estructura que permita minimizar los errores de formulación de manera adecuada y rápida. La selección de la red dependió del valor del coeficiente de correlación (valor R) el cual se pretendió fuera cercano a 1. Concluido este proceso, se obtuvo una formulación de color propuesta por la salida de la RNA, la cual fue analizada para obtener el cuadrado medio de error (MSE); y verificar el desempeño de la RNA construida en función de la exactitud lograda en la igualación del color de la formulación generada.

Resultados: El análisis ANOVA realizado arrojó que existe diferencia significativa para la variable muestra, pero ésta diferencia no afectó el desempeño del entrenamiento de la RNA para la obtención de formulaciones de color adecuadas y precisas.

La RNA de retro propagación diseñada mostró un buen desempeño para cada uno de los casos analizados; tomando como base el valor R obtenido en el entrenamiento, se seleccionó la RNA más adecuada para el propósito de la investigación; obteniendo así formulaciones de color adecuadas; las cuales fueron analizadas para obtener el valor del error medio cuadrado (MSE) para cada colorante empleado y verificar así el desempeño de la RNA seleccionada.

Discusión o Conclusión: Una RNA de retro propagación es capaz de minimizar los errores de formulación en productos textiles, en el presente artículo, con el propósito de minimizar dichos errores, se entrenó una RNA de retro propagación; la cual contó con una estructura 3-5-2 y presentó un buen desempeño para la resolución de este tipo de problemas, con el entrenamiento de la RNA se consiguió obtener una formulación de color adecuada, la cual presentó un error medio cuadrado de 0.0016628 para el colorante azul y 0.0019724 para el colorante amarillo, el coeficiente de correlación R total obtenido por la RNA fue de 0.99776, este valor indica que la

red generada es capaz de explicar el 99.77% de la variación observada en los datos empleados para su entrenamiento.

Palabras clave: color; proporción de color; redes neuronales; red de retro propagación; receta de color

Abstract

Color is an essential characteristic in quality for many products; to obtain the appropriate color is necessary to determine the colorants proportions required to get an exact coincidence of the color desired. In the textile industry, the development of an appropriate coloration is an essential quality standard, since it generates a direct impact in a product's level of attraction. Currently in the textile industry, the color's formulation development depends on a colorist master. That is why this process is highly subjective, since it depends from the colorist's experience to get a coincidence of color in function of his appreciation. At the same time, the color's visual evaluation depends on environmental factors such as: kind of illumination, light incidence, and the background color applied. Due to the subjectiveness and the low standardization of the color's formulation in the textile industry, it is necessary the development of new techniques that allow to generate more exact color formulations. Artificial neural networks (ANN) are intelligent tools, which can be trained to imitate the colorists' way of work, allowing the error minimization between the color to develop and a targeted color. With an ANN is possible to create efficient color recipes, in a faster and continuous way within a manufacturing process. To eliminate the color's visual subjectivity evaluation, the ANN can be fed with precise colorimetric data from the object under study. In the present work the use of a 3-layer back propagation of an ANN is presented, which generates color formulations for textiles products from color coordinates L , a^* , b^* delivered from a colorimeter. The total measurement coefficient R obtained by the proposed ANN was 0.99776 having an error margin of 0.0016 and 0.0019 in milliliters for the applied colorants.

Introduction: Color evaluation is a quality standard of great importance, which influences the level of acceptance or rejection of many products in the industrial sector (Li, Wang, & Jing, 2015). In the textile industry, one of the most important processes is the appropriate coloring to dye certain type of fabric through the creation of adequate color recipes (Furferi & Carfagni, 2010). Color valuation in the textile industry depends highly in the product's visual valuation,

which is highly subjective, due to the fact that many environmental factors as well as the evaluator training affect the color's perception. Currently, many methods have been developed for the color perception analysis. Artificial intelligence techniques and tools have been applied currently in them, such as the ANN (Li, Wang, & Jing, 2015).

This article proposes the development of a system to obtain the color recipes, in which a back propagation ANN was applied to generate color formulations that have a small variation based on a established color pattern, applying a colorimeter as a measurement instrument, this due to its low cost regarding the spectrophotometer to obtain the color evaluation colorimetric coordinates that allowed the ANN training applied, reducing the subjectivity of color evaluation and formulation, when applying instrumental techniques within the process.

Method: For the present article, having cotton fabric as a base and 2 pigment vats (blue and yellow), 4 colorimetric samples were generated corresponding to 5 proposed formulations, which were replicated 4 times, thus obtaining a total of 20 experimental units, from which a total of 840 colorimetric data (corresponding to the vectors L , a^* , b^* in the color space CIELAB); this data was analyzed to determine if significant differences were present that could influence in the network's performance in the color formulation, with this analysis done the data was applied to train a back propagation ANN.

The ANN was analyzed with 5, 10, 15, and 20 neurons in the hidden layer, to determine the best structure that allows for error minimization in the formulation in a fast and adequate way. The choice of network depended on the correlation coefficient value (R-value) which was pretended to be closet to 1. With this process concluded, a proposal for a color formulation was obtained by the outcome from the ANN, which was analyzed to get the mean squared error (MSE); and to verify the ANN performance built according to the accuracy obtained in the color equalization from the formulation created.

Results: Then ANOVA analysis performed showed that there is a significant difference for the sample variable, but this difference didn't affect the performance from the ANN training on obtaining the precise and adequate color formulations.

The back propagation ANN designed showed a good performance for each analyzed case; having as a base the value R obtained in the training, the best ANN was selected for the purpose of the research; thus, obtaining the adequate color formulations; which were analyzed to get the

mean squared error (MSE) value for each colorant applied and verify the selected ANN performance.

Discussion or Conclusion: A back propagation ANN is able to reduce the errors in the formulation of textiles products, in the present article, with the objective to minimize such errors, a back propagation ANN was trained; which has a 3-5-2 structure and showed a good performance for solving this kind of problems, with the ANN training an adequate color formulation was obtained, which showed a mean squared error of 0.0016628 for the blue colorant and 0.0019724 for the yellow colorant, the total correlation coefficient R obtained by the ANN was 0.99776, this value indicates that the created network is able to explain 99.77% of the variation observed in the data applied for its training.

Keywords: color; color proportion; neural networks; back propagation neural network; color recipe

Recibido en 21/05/2018

Aceptado en 19/07/2018

Introducción

En la actualidad, el color de diferentes artículos industriales es un importante estándar de calidad en la evaluación del producto final; para poder lograr una apropiada coloración es necesario determinar la correcta proporción de colorantes requeridos para lograr una exacta coincidencia del color, a este proceso se le denomina predicción o formulación de la receta de color (Almodarresi, Mokhtari, Almodarresi, Nouri, & Shams Nateri, 2013). En el sistema de producción de la industria textil, el desarrollo de una apropiada coloración en sus productos es un estándar de calidad indispensable, ya que éste genera un impacto directo en el nivel de agrado o rechazo de un producto (Mangine, Jakes, & Noel, 2005) (Furferi & Carfagni, 2010).

Para evaluar el color y el resultado de una formulación actualmente existen instrumentos, como son: el espectrofotómetro y el colorímetro; ambos centran su funcionamiento en la

obtención de las coordenadas colorimétricas L , a^* , b^* definidas así por el organismo CIE (Comission Internationale de l'Eclairage) (Berns, 2000) (Mangine, Jakes, & Noel, 2005).

El colorímetro es un instrumento simple, relativamente económico, que compara el color a investigar con el de un patrón emulando el uso del ojo humano como un detector, este aparato emplea las coordenadas colorimétricas del espacio CIE, mediante los valores de los triestímulos de la fuente de luz, que brinda valores cualitativos y no subjetivos que permiten evaluar el color de una manera rápida y eficaz, bajo una iluminación D_{65} (Berns, 2000). Por otra parte el espectrofotómetro es un instrumento que mide la reflectancia o transmitancia a través de materiales, como una función de la longitud de onda del espectro de luz visible, que genera errores mínimos, sin embargo su elevado costo ocasiona que empresas pequeñas o medianas no puedan acceder a él (Gorji Kandi, Ameri, & Khalili, 2012) (Berns, 2000).

A pesar de los desarrollos tecnológicos para la evaluación de diferencias de coloración en la industria, en la mayoría de los casos, estos valores no se consideran en el proceso de la formulación del color. La valoración del color en la industria textil depende en mayor medida de la evaluación visual del producto. Esta evaluación es altamente subjetiva, debido a que la percepción del color se ve afectada por diversos factores como pueden ser: el tipo de fuente de luz, la inclinación de la fuente luminaria, el entrenamiento del evaluador, el ángulo de observación entre otros (Li, Wang, & Jing, 2015).

En algunas industrias para generar la formulación de color se utiliza la técnica Kubelka Munk, la cual se ve limitada en la industria textil por el tipo de colorantes empleados, ya que actualmente para el teñido de algodón se emplean colorantes reactivos, los cuales, al ser evaluados por esta teoría generan errores en la evaluación obtenida (Gorji Kandi, Ameri, & Khalili, 2012). En diversas industrias, para contrarrestar estas limitantes de evaluación y formulación del color, actualmente se han empleado técnicas y herramientas de inteligencia artificial, como son las RNA, capaces de trabajar bajo condiciones de variabilidad en los datos de alimentación, así como seguir patrones durante su entrenamiento, ejemplo de esto, es la industria automotriz que ha empleado sistemas ópticos dirigidos por RNA, o la industria cosmética, en la que se han desarrollado sistemas de visión artificial que emplean RNA con la finalidad de desarrollar una herramienta de medición de color, eficaces y eficientes (Mangine, Jakes, & Noel, 2005) (Li, Wang, & Jing, 2015) (Gutiérrez-Rosas, Vázquez-López, Yáñez Mendiola, & López-Juárez, 2015).

Dentro de la industria textil se han desarrollado técnicas para la formulación del color empleando la técnica Kubelka- Munk con RNA para predecir los valores de reflectancia de una receta de color (Jiang, Yang, Wang, & Deng (2007) (Furferi, Governi, & Volpe, 2016) o con el uso de RNA para aprender el sistema complejo de las predicciones de color a partir de la técnica Kubelka-Munk (Almodarresi, Mokhtari, Almodarresi, Nouri, & Shams Nateri, 2013).

Últimas investigaciones emplean el concepto de RNA con el objetivo de resolver problemas de coincidencia de color de manera más eficaz y rápida; emplean el espectrofotómetro como medio para la obtención de datos colorimétricos para el entrenamiento de dichas redes; en las cuales se observa una mejora en la obtención de las formulaciones predichas. (Sungmin, Jong, & Chang, 2015) (Yang, Ma, Yang, Zhang, & Shen, 2018). Finalmente se han generado modelos híbridos, los cuales son desarrollados al combinar las RNA con diferentes modelos, como puede ser el modelo Stearns-Noechel. La red híbrida desarrollada muestra una mejora en la disminución de los errores en las formulaciones obtenidos en comparación con las generadas por modelos tradicionales (Weiguo, Hui, Xiang, & Jiajia, 2017).

El amplio uso de las RNA es debido a que son sistemas procesadores de información. Una RNA emula el comportamiento del cerebro humano caracterizado por el aprendizaje a través de la experiencia y la extracción de conocimiento genérico a partir de un conjunto de datos. (Fausett, 1994) (Flórez & Fernández, 2008). En la Figura 1 se muestra la estructura básica de una RNA, la cual consta de las entradas a la red, una capa de entrada, una capa de salida, capas ocultas (en caso de RNA multicapa) y finalmente la salida de la red (Pino, Gómez, & de Abajo Martínez, 2001).

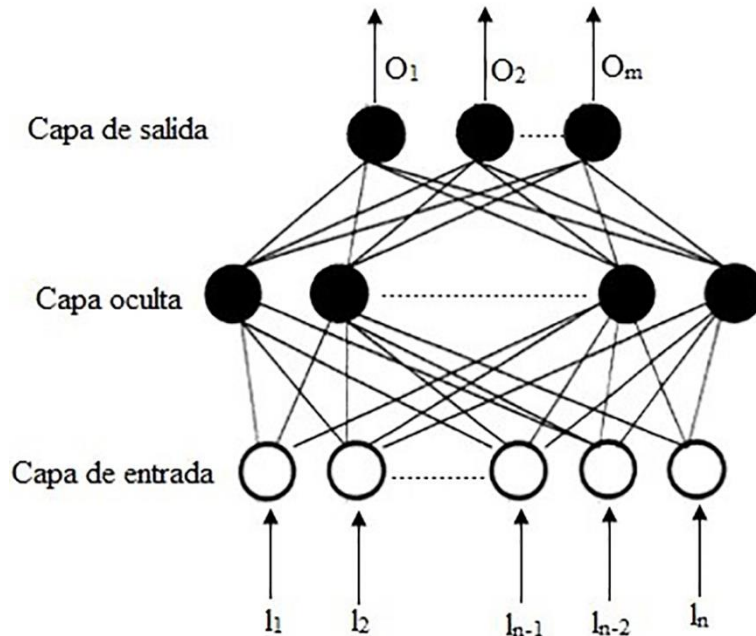


Figura 1. Estructura básica de una RNA.

Una RNA es llamada red de retro propagación debido a la forma en que el error es propagado hacia atrás a través de la RNA, es decir, el error se propaga hacia atrás de la capa de salida, lo que permite que los pesos sobre las conexiones de las neuronas ubicadas en las capas ocultas cambien durante el entrenamiento (Pérez-Alvarez, Fernández-López, & Rosmini, 2004).

Por lo descrito anteriormente, es necesario desarrollar e implementar métodos alternativos que permitan generar y evaluar recetas de color de una manera más óptima, a un menor costo y de una manera más rápida y eficaz que los métodos actuales basados en la experiencia.

Para el presente artículo se empleó una RNA de retro propagación para generar formulaciones de color que presenten poca variación con base a un patrón de color establecido; se utilizó un colorímetro debido a su bajo costo en relación con el espectrofotómetro para obtener las coordenadas colorimétricas de evaluación del color que permitieron entrenar a la RNA empleada, disminuyendo así la subjetividad de la evaluación y formulación del color, al emplear técnicas instrumentales dentro del proceso.

La metodología empleada se describe en la siguiente sección, básicamente se generaron 5 diferentes formulaciones de color objetivo, que se pretende la RNA sea capaz de predecir. Con dichas formulaciones se tiñeron un total de 20 muestras de tela de algodón (4 cuadrados de tela

por formulación). Las muestras de tela generadas se evaluaron empleando un colorímetro, con los datos obtenidos de las coordenadas de color se generó una base de datos que se empleó para entrenar la RNA para la generación de la predicción de la receta de color necesaria para obtener los colores objetivos iniciales.

Método

Muestras colorimétricas

Se generaron formulaciones de color objetivos a partir de un diseño de mezclas de modelo simplex grado 2, para dos colorantes empleados en tonalidades amarillo y azul cielo. Debido a que la tela a teñir en el presente trabajo es un tejido elaborado a base de algodón, los colorantes utilizados son denominados colorantes tipo cubas, los cuales son afines al tipo de tela y tratamiento de tinción a seguir. El diseño descrito se realizó de manera aleatoria. Los resultados de éste se muestran en la Tabla 1; en la cual se presentan los mililitros por pigmento a emplear para cada formulación propuesta ubicada por renglón.

Tabla 1. Propuesta de concentración en mL de pigmento a emplear.

Azul cielo	Amarillo
12 mL	0 mL
6 mL	6 mL
0 mL	12 mL
9 mL	3 mL
3 mL	9 mL

Siguiendo el proceso de teñido especificado por el fabricante de los colorantes, primeramente se procedió a diluir cada uno en agua caliente (a una temperatura de 90°C), generando así un tinte. Posteriormente la cantidad especificada del tinte se vació en un recipiente con 500 mL de agua a una temperatura de 90°C, generada esta nueva mezcla se procedió a depositar la tela a teñir. La determinación de la cantidad de tinte a usar dependió del peso de la tela. La cantidad total de tinte empleado fue de 12 mililitros por cada 20 gramos de tela. Cada muestra de tela teñida consistió en un cuadrado de 12cm de lado, con un peso de 5 gramos.

La tela en proceso de teñido se mantuvo en el recipiente con el tinte durante 25 minutos, esto se realizó siguiendo la recomendación del fabricante, el cual también indica que la tela debe moverse constantemente dentro del recipiente (para garantizar la agitación y temperatura constante se empleó un agitador magnético y una placa de calentamiento con agitación), esto con la finalidad de que se obtenga una coloración uniforme. Posteriormente la tela fue enjuagada con agua pura hasta que ya no presentó residuos del tinte, por último, la tela se dejó secar a la sombra. Con el propósito de realizar un proceso de teñido adecuado, dicha experimentación se realizó en un laboratorio con condiciones controladas, del cual se emplearon diversos instrumentos como son: termómetro de mercurio (marca Pyrex, con graduación de -10 a 150 °C), agitador magnético, placa de calentamiento con agitación (marca Thermo Scientific, modelo SP13163033Q), vasos de precipitado (marca pyrex) y balanza analítica (marca EcuRed). El proceso anterior es ilustrado en la Figura 2.

Para cada una de las 5 formulaciones indicadas en la Tabla 1 se generaron 4 muestras, obteniendo así un total de 20 unidades experimentales, a las cuales se les realizó la medición de sus valores correspondientes a los valores L , a^* , b^* en 21 puntos. La evaluación de los 21 puntos se replicó generando dos bloques (bloque 1: medición y bloque 2: repetición de la medición). Estos datos se emplearon para generar la base de datos de entrenamiento para la RNA que consistió en un total de 840 coordenadas L , a^* , b^* .

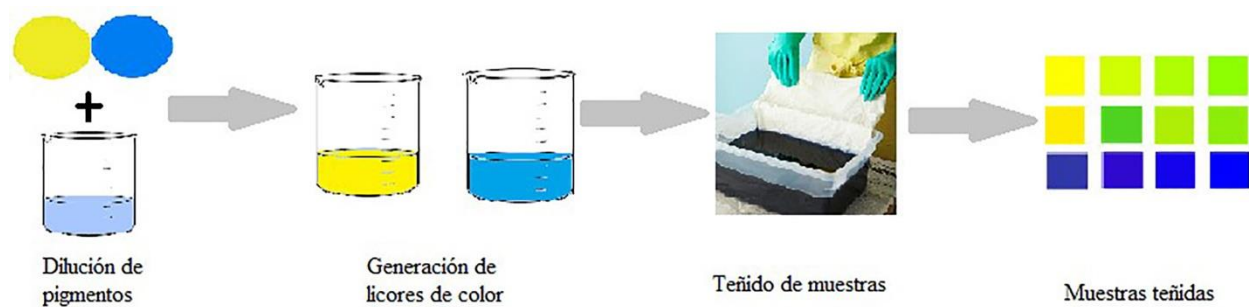


Figura 2. Método de tinción de muestras.

Análisis de color

Se empleó un colorímetro (marca “Precise Color Reader”, modelo WR-10), el cual proporcionó los valores correspondientes a los vectores L , a^* , b^* del espacio de color CIELAB.

CIELAB es un espacio de color que correlaciona la luminosidad, tonicidad y el croma de un color, recomendado para diferencias de color largas. Este espacio de color emplea coordenadas L , a^* y b^* , que representan la luminosidad, el rango de escala de colores rojizos-verdosos y amarillos-azulosos respectivamente; por lo tanto, si las coordenadas son conocidas, entonces no solo es posible describir el color, sino que también se puede definir su ubicación en el espacio (Pérez-Alvarez, Fernández-López, & Rosmini, 2004).

A cada una de las 20 unidades experimentales generadas se les realizaron 21 mediciones en diferentes puntos (representados de manera simbólica en la Figura 3); es importante resaltar que se dejó un margen de 1 cm en cada lado de las unidades experimentales a medir, esto con el propósito de eliminar errores de tinción que se pueden presentar en los extremos de las mismas.

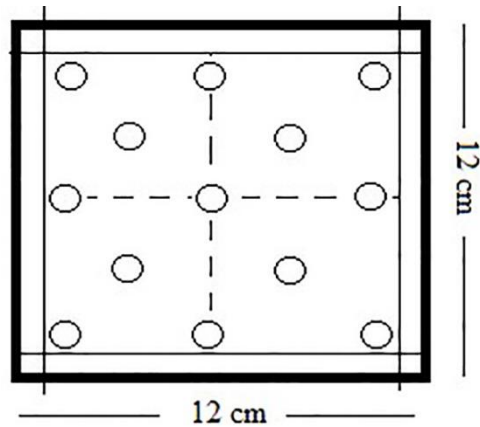


Figura 3. Diagrama para la toma de datos colorimétricos.

Análisis estadístico

Se empleó la técnica de análisis de varianza (ANOVA), la cual permite verificar si dos o más medias pertenecen a la misma población (Montgomery & Runger, 1996).

Generada la base de datos, la cual consta de 2 réplicas de medición (denominadas como bloques de medición) de las 4 muestras colorimétricas obtenidas de las 5 formulaciones propuestas; que fueron medidas en 21 puntos para obtener los valores L , a^* , b^* correspondiente a cada una de las muestras; se generaron un total de 840 datos colorimétricos, los cuales fueron analizados (por cada formulación propuesta en la Tabla 1) con el fin de verificar que éstos no presentaran diferencia significativa entre los mismos. Concluido el análisis de datos se entrenó una red de retro propagación en el software MATLAB 2016, del cual se empleó la herramienta NNTOOL para el diseño de la red.

Resultados

La Tabla 2 muestra la formulación base empleada en cada caso, así como la nueva etiqueta de cada una de las 20 unidades experimentales generadas.

Tabla 2. N° de muestras por formulación.

N° de formulación	Formulación base	N° de muestras correspondientes
1	0 / 12 mL	17, 13, 8, 3
2	12 / 0 mL	16, 11, 6, 1
3	6 / 6 mL	18, 12, 7, 2
4	9 / 3 mL	19, 14, 9, 4
5	3 / 9 mL	20, 15, 10, 5

En la Tabla 3 se muestra un ejemplo de los ANOVAs obtenidos. Este análisis se generó por cada una de las 5 formulaciones propuestas en Tabla 1. Para el ejemplo presentado de la formulación número 3 se realizaron 3 análisis de varianza, uno para los valores L , otro para los valores a^* y por último para los valores b^* . En total se generaron 168 valores L , a^* , b^* para cada formulación debido a los 2 bloques de medición realizados, cada uno con 21 valores de las 4 muestras obtenidas por formulación.

Las fuentes de variación considerados en el ANOVA fueron muestra y bloque, donde muestra se refiere a los 4 cuadrados de tela obtenidos para la formulación 3 y el bloque a las dos réplicas de medición realizadas.

La Tabla 3 denota en el valor P que es menor que 0.05, que el factor muestra es significativo, mientras que la repetición de la medición no es significativa. En otras palabras se encontraron valores de L , a^* y b^* con diferencias estadísticamente significativas entre las 4 muestras de la formulación 3, lo cual indicaría una variación en la coloración obtenida de los 4 cuadrados de tela, para la misma formulación empleada. Estos resultados se replicaron para las 5 formulaciones obtenidas, indicando así diferencias estadísticamente significativas entre todas las muestras de cada una de las formulaciones generadas.

Para visualizar de forma gráfica esta diferencia encontrada en el ANOVA, a continuación se muestran las gráficas de intervalos para cada una de las 4 muestras analizadas (Figura 4), para la formulación 3, para cada valor L , a^* , b^* . En la Figura 4 puede observarse para el valor de L , que las muestras 18 y 2 son prácticamente iguales, sin embargo la muestra 12 es

significativamente diferente, ya que no contiene valores en común con las otras dos mencionadas ni con la muestra 7. Para el valor de a^* se observan diferencias amplias entre las muestras 18 y 7, mientras que para el valor b^* la muestra que mayor diferencia presenta es la 2, puesto que no se traslapa con ninguna de las otras 3 muestras. Las gráficas correspondientes a las demás formulaciones presentaron comportamientos muy similares, mostrando al menos una muestra que no presentaba valores en común con las demás, teniendo una explicación gráfica con ello de los resultados obtenidos en el ANOVA de la Tabla 3.

Tabla 3. ANOVA de los vectores colorimétricos.

Análisis de varianza L					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	3	8.16	2.72	4.33	0.00
Bloque	1	2.16	2.16	3.45	0.06
Error	163	102.45	0.62		
Falta de ajuste	3	1.08	0.36	0.57	0.63
Error puro	160	101.37	0.63		
Total	167	112.79			
Análisis de varianza a*					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	3	1.56	0.52	3.22	0.02
Bloque	1	0.25	0.25	1.56	0.21
Error	163	26.42	0.16		
Falta de ajuste	3	0.12	0.04	0.25	0.86
Error puro	160	26.30	0.16		
Total	167	28.24			
Análisis de varianza b*					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Muestra	3	25.34	8.45	8.83	0.00
Bloque	1	4.80	4.81	5.02	0.03
Error	163	156.04	0.96		
Falta de ajuste	3	0.97	0.32	0.34	0.80
Error puro	160	155.06	0.97		
Total	167	186.19			

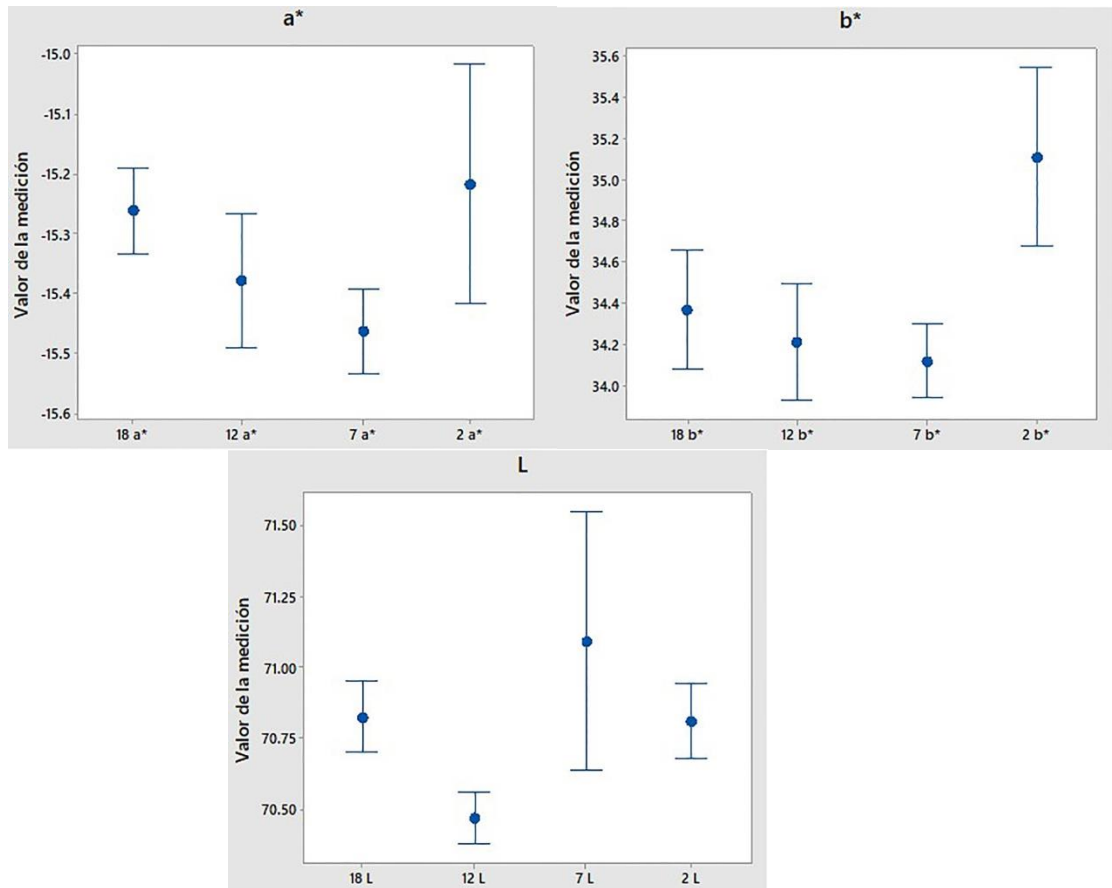


Figura 4. Gráficas de intervalos para los valores L , a^* , b^* .

En la Figura 5 se presenta el diseño de la red de retro propagación construida, la cual constó de un total de 3 entradas (correspondientes a los valores L , a^* y b^*), 2 salidas, 1 capa oculta y 1 capa de salida.

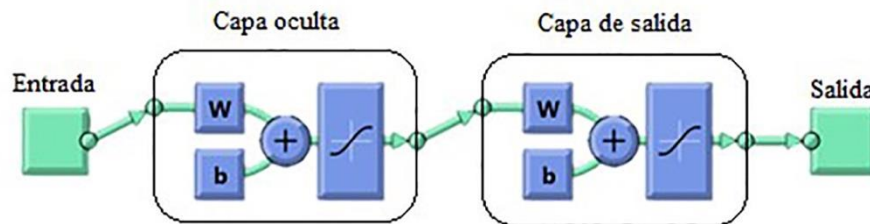


Figura 5. Estructura de una RNA.

Se entrenó a la RNA con la estructura de la Figura 5 para un total de 5, 10, 15 y 20 neuronas en la capa oculta. Este proceso se realizó hasta que el valor R arrojado por el software fue cercano a la unidad. El valor R es el coeficiente de correlación de la RNA, el cual indica la variación de los datos explicada por la estructura de la RNA empleada. El valor R al ser una probabilidad siempre se encontrará entre 0 y 1; lo deseable es que el valor R sea lo más cercano a 1 debido a que esto significaría que el modelo de la RNA es capaz de explicar al 100 % la variación contenida en los datos. En la Tabla 4 se muestra un resumen de los resultados obtenidos para cada una de las RNA empleadas, se presenta el valor R en sus diferentes versiones y el número de corridas de entrenamiento necesario para llegar a dichos valores.

Tabla 4. Valores R del entrenamiento de la RNA.

Número de neuronas en la capa oculta	R de Entrenamiento	R de Validación	R de Prueba	R Total	Corridas de entrenamiento
5	0.99770	0.99832	0.99747	0.99776	2
10	0.99837	0.99860	0.99828	0.99836	5
15	0.99926	0.99950	0.99866	0.99923	2
20	0.99999	0.99969	0.99838	0.99968	5

Los resultados de la Tabla 4, muestran que desde el diseño con 5 neuronas se obtiene un buen desempeño para el tipo de datos empleados, así como para el problema analizado; ya que los valores de R obtenidos después del entrenamiento de la red son aceptables. A pesar de que el resto de estructuras propuestas muestran un desempeño aceptable para este problema, el uso de un elevado número de neuronas podría generar un sobre ajuste en la RNA, así como un mayor tiempo computacional para obtener la receta de color adecuada, por lo que se continuó la experimentación empleado la RNA con 5 neuronas en la capa oculta.

Con la RNA con arquitectura 3-5-2, se generaron las formulaciones; los valores de las recetas de color, fueron comparados con las formulaciones objetivo (señalados en la Tabla 1), para evaluar el nivel de error obtenido en cada caso. La Tabla 5 contiene las formulaciones generadas por la RNA, así como el valor del error correspondiente; éste indica los mL de

diferencia para cada formulación (donde un valor negativo indicara mL adicionales al valor original).

Tabla 5. Comparación de formulaciones y MSE.

Formulación objetivo en mL		Formulación obtenida por la RNA en mL		Error en mL		Error cuadrado en mL	
Azul	Amarillo	Azul	Amarillo	Azul	Amarillo	Azul	Amarillo
0	12	0.015	11.956	-0.015	0.044	0.000225	0.001936
12	0	11.95	0.051	0.05	-0.051	0.0025	0.002601
6	6	5.959	6.04	0.041	-0.04	0.001681	0.0016
9	3	8.992	3.002	0.008	-0.002	0.000064	0.000004
3	9	3.062	8.939	-0.062	0.061	0.003844	0.003721
Total						0.008314	0.009862
MSE						0.0016628	0.0019724

En la Tabla 5, se aprecia como las formulaciones generadas por la RNA contienen un nivel de error bajo con respecto a las formulaciones objetivo, con el cual se calculó el error medio cuadrático (MSE) de 0.0016628 en el colorante azul y 0.0019724 para el colorante amarillo, en ambos casos en mililitros al cuadrado, lo cual es un valor bastante pequeño con respecto al contenido total de la formulación de color de 12 mililitros por formulación.

Discusión o Conclusiones

En el presente artículo se propuso un nuevo método para generar formulaciones de color en la industria textil, se desarrolló y entrenó una RNA la cual permitirá la obtención de recetas de color en línea, en un tiempo real y que a su vez logrará disminuir los errores de formulación al no depender de un colorista para su realización y por tanto eliminar la subjetividad del mismo; así como una optimización del tiempo de producción. El sistema generado es de bajo costo ya que se empleó un colorímetro para la obtención de los datos colorimétricos empleados en el entrenamiento de la red; esto hace que el sistema sea accesible para pequeñas y medianas

empresas. En la presente investigación se empleó el software Matlab para el entrenamiento de la RNA, debido a que la Institución en la cual se desarrolló el presente cuenta con las licencias necesarias sin embargo, existen diferentes paquetes computacionales de uso libre (por ejemplo R), que cuentan con un módulo para el uso de RNA que podrían utilizarse en dado caso que esta aplicación sea empleada por una empresa de forma directa y no cuente con licencias especializadas para ello, así mismo también se encuentra la opción de llevar a cabo colaboraciones entre empresas e instituciones educativas para facilitar el acceso a este tipo de herramientas.

En el experimento realizado, para las muestras generadas se observó una alta variabilidad en el factor muestra; esto indica la presencia de una diferencia significativa estadísticamente hablando en dicho factor de análisis.

Debido a que las RNA son sistemas capaces de trabajar con variabilidad en los datos, esta fue capaz de trabajar con dicha variación observada en los datos de entrenamiento, sin presentar un gran número de errores en la formulación debido a esta circunstancia, la RNA seleccionada para la obtención de las formulaciones de color presenta una estructura 3-5-2, con la cual se obtuvieron formulaciones de color adecuadas, las cuales presentaron un error medio cuadrado de 0.0016628 para el colorante azul y 0.0019724 para el colorante amarillo, el coeficiente de correlación R total obtenido por la RNA fue de 0.99776, lo que indica que el modelo de la red es capaz de explicar el 99.77% de la variación observada en los datos empleados para su entrenamiento.

Como trabajo futuro se pretende la aplicación del proyecto en un sistema productivo de textiles, así como la evaluación del desempeño de la RNA ante un mayor número de colorantes en la formulación base, esperando obtener buenos resultados de la propuesta.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo económico al otorgar una beca educativa para estudios de maestría para la autor principal de este artículo.

Referencias

- Almodarresi, E. S., Mokhtari, J., Almodarresi, S. M., Nouri, M., & Shams Nateri, A. (2013). A scanner based neural network technique for color matching of dyed cotton with reactive dye. *Fibers and polymers*, 14(7), 1196-1202.
- Berns, R. S. (2000). *Billmeyer and Saltman Principales of color technology*. New York, USA: Wiley- Interscience.
- Fausett, L. (1994). *Fundamentals of neural networks, architectures, algorithms and applications*. New jersey, USA: Prentice Hall.
- Flórez, L. R., & Fernández, F. J. (2008). *Las redes neuronales artificiales, fundamentos teoricos y aplicaciones practicas*. La Coruña, Oleiros, España: Netbiblo.
- Furferi, R., & Carfagni, M. (2010). An as short as possible mathematical assessment of spectrophotometric color matching. *Journal of Applied Sciences*, 10(18), 2108-2114.
- Furferi, R., Governi, L., & Volpe, Y. (2016). Color matching of fabric blends: Hybrid Kubelka-Munk + artificial neural network based method. *Journal of Electronic Imaging*, 25(6), 061402-1- 061402-10.
- Gorji Kandi, S., Ameri, F., & Khalili, N. (2012). Instrument dependency of Kubelka- Munk theory in computer color matching. *Progress in color, colorants and coatings* , 85-90.
- Gutiérrez-Rosas, P. T., Vázquez-López, J. A., Yáñez Mendiola, J., & López-Juárez, I. (2015). Color's measurement and discrimination, of a cosmetic product by an artificial vision system. *2015 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies*, 803-808.
- Jiang, H. Y., Yang, F., Wang, Z. D., & Deng, L. J. (2007). K/S value prediction of the reactive dyeings with BP nerve network. *Dyeing and Finishing*, 9, 8.
- Li, P. F., Wang, J., & Jing, J.-f. (2015). Application of improved back propagation algorithm in color difference detection of fabric. *color research and application*, 40(3), 311-317.
- Mangine, H., Jakes, K., & Noel, C. (2005). A preliminary comparison of CIE color differences to textile color acceptability using average observers. *Color research and application*, 30(4), 288-294.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (1996). *Probabilidad y Estadística aplicadas a la ingenieria*. Mexico DF, Mexico: McGraw- Hill.

- Pérez-Alvarez, J., Fernández-López, J., & Rosmini, M. (2004). Chapter 13 Chemical and Physical Aspects of Color in frozen Muscle- Based foods. En Y. Hui, G. I. Legarretta, M. H. LIM, K. Murrell, & W. K. Nid, *Handbook of frozen foods* (Vol. 133). New York: Marcel Dekker Inc.
- Pino, D. R., Gómez, G. A., & de Abajo Martínez, N. (2001). *Introducción a la inteligencia artificial, sistemas expertos redes neuronales artificiales y computación evolutiva*. Servicio de publicaciones, Universidad de Oviedo.
- Sungmin, K., Jong, P. H., & Chang, K. P. (2015). Development of a color matching algorithm for digital transfer textile printing using an artificial neural network and multiple regression. *Textile Research Journal*, 85(10), 1076-1082.
- Weiguo, C., Hui, M., Xiang, Z., & Jiajia, S. (2017). Spectrophotometric prediction of pre-colored fiber blends with a hybrid model based on artificial neural network and Stearns–Noechel model. *Textile Research Journal*, 87(3), 296-304.
- Yang, Y., Ma, H., Yang, Q., Zhang, C., & Shen, J. (2018). Recipe prediction of mélange yarn using modular artificial neural network. *Journal of the Textile Institute*, 109(5), 629-635.