

Tipo de artículo: Artículo original
Temática: Bioinformática
Recibido: 20/05/2017 | Aceptado: 25/06/2017

Predicción del rendimiento y la calidad de tres gramíneas en el valle del cauto

Prediction of yield and quality of three grasses in the Cauto Valley

Ibet de los A. Pascual Sánchez^{1*}, Agustín A. Ortiz Díaz¹, Jorge Ramírez de la Rivera¹, Angel Figueredo León¹

¹ Departamento de Informática. Universidad de Granma, Sede Blas Roca, Carretera Bayamo Km 1, Manzanillo, Granma, Cuba. CP: 87510

*Autor para la correspondencia: ipascuals@udg.co.cu

Resumen

En las regiones tropicales los pastos y forrajes se han convertido en la principal alternativa como fuente de nutrientes para la alimentación del ganado, es por ello que en la actualidad se hace necesario el conocimiento más preciso del valor alimenticio de los mismos. El estudio de los pastos y forrajes cobra una gran relevancia en el Valle del Cauto por las difíciles condiciones edafoclimáticas que posee. En el Centro de Estudios de Producción Animal (CEPA) de la Universidad de Granma se lleva a cabo el proceso de caracterización de varias especies de pastizales. Dicho proceso presentaba diversas limitantes que dificultaban la obtención de factores de rendimiento y calidad que se debían tener en cuenta a la hora de elaborar las raciones de los animales. A lo largo de los años se ha propuesto la sustitución de la caracterización tradicional de la productividad y rendimiento de cultivos, por la predicción, a través de métodos como la regresión múltiple, y en las últimas décadas las redes neuronales artificiales. En la presente investigación se obtuvieron tres modelos de redes neuronales artificiales utilizando la herramienta Matlab 2013b, que permiten predecir factores de rendimiento y la calidad de las especies *Megathyrsus maximus*, *Bracharia decumbens* y *Bracharia brizantha* x *Bracharia ruziziensis*, en las condiciones edafoclimáticas del Valle del Cauto, posibilitando agilizar el proceso de caracterización y evitar el uso de complejas técnicas de laboratorio.

Palabras claves: predicción, pastos, forrajes, redes neuronales.

Abstract

In tropical regions, pastures and forages have become the main alternative as a source of nutrients for livestock feed, which is why it is now necessary to know more precisely the nutritional value of them. The study of pastures and forages is of great importance in the Valle del Cauto due to the difficult soil and climatic conditions it has. At the Center for

Animal Production Studies (CEPA) of the University of Granma, the process of characterization of several species of grassland is carried out. This process had several limitations that made it difficult to obtain performance and quality factors that should be taken into account when preparing animal rations. Over the years it has been proposed to replace the traditional characterization of productivity and crop yields, by prediction, through methods such as multiple regression, and in recent decades artificial neural networks. In the present research, three models of artificial neural networks were obtained using the Matlab 2013b tool to predict performance factors and the quality of the species *Megathyrus maximus*, *Bracharia decumbens* and *Bracharia brizantha* x *Brachiaria ruziziensis*, under the edaphoclimatic conditions of Valle del Cauto, Making it possible to streamline the characterization process and avoid the use of complex laboratory techniques.

Keywords: Prediction, pastures, fodder, neural networks.

Introducción

En términos económicos, el sector pecuario no es uno de los principales a nivel mundial, pero su importancia social y política es altamente significativa. Este representa el 40 % del producto interno bruto (PIB) agrícola, genera empleo para mil trescientos millones de personas y medios de subsistencia para mil millones de pobres en todo el mundo, fundamentalmente en los países del tercer mundo (Steinfeld et al., 2009).

A pesar de poseer los países del tercer mundo la mayor población mundial de ganado vacuno y de ser algunos de ellos los mayores productores de carne y de leche de esta especie, cuentan con animales menos productivos, insuficientes sistemas de producción, falta de programas para el mejoramiento masivo de estos y para el aseguramiento de la base alimentaria a través de la introducción de pastos y forrajes más productivos y de mayor calidad nutritiva, y subnutrición crónica bastante generalizada. Todo lo expuesto anteriormente influye muy desfavorablemente en la salud del ganado, disminuyen su productividad y capacidad de resistencia contra las enfermedades y efectos negativos del medio ambiente (Calzadilla et al., 2006).

Para hacer frente a todos estos desafíos en estas regiones tropicales, los pastos y forrajes se han convertido en la principal alternativa como fuente de nutrientes para la alimentación del ganado (Mármol, 2006). Es por ello que en la actualidad se hace necesario el conocimiento, cada día más preciso, del valor alimenticio de los pastos y forrajes que pueden formar parte de las raciones y que permite exteriorizar el máximo potencial de producción de los animales (Cáceres and González, 2000).

En tal sentido (Herrera, 2006) argumentó que los pastos resultan ser una fuente apropiada de alimentos para el ganado vacuno, principalmente en países de clima tropical como Cuba. Ello es debido al elevado número de especies que pueden ser utilizadas, la posibilidad de cultivarlas todo el año, la capacidad del rumiante de utilizar alimentos fibrosos, no competir como alimento para el ser humano y porque suele ser una fuente económica.

Estos aspectos cobran mayor relevancia en la provincia Granma, y en especial en el Valle del Cauto, donde se asienta una parte importante de la ganadería, pues se presentan condiciones edafoclimáticas difíciles. Los suelos tienen mala calidad, las temperaturas son altas, las precipitaciones bajas, existe poca disponibilidad de recursos y presencia de agrosistemas en su gran mayoría frágiles y degradados. Es por ello que el país hace grandes esfuerzos en la introducción de nuevas especies de mayor rendimiento y calidad. Entre estas se encuentran los pastos *Megathyrsus maximus*, *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria brizantha x Brachiaria ruziziensis*, las cuales se adaptan muy bien a las condiciones climáticas de Cuba (Hernández et al., 2000).

Para el establecimiento de adecuadas estrategias de manejo en el Valle del Cauto es imprescindible la caracterización del rendimiento y la calidad de dichos cultivos en los diferentes períodos del año. La realización de la caracterización manifestó diversas insuficiencias, expresadas por los especialistas del Centro de Estudio de Producción Animal (CEPA) de la Universidad de Granma, donde se llevan a cabo las investigaciones relacionadas con los pastos y forrajes en la región, entre las que se encuentran: el proceso se torna muy largo y engorroso, se utilizan complejas técnicas de laboratorio que son muy costosas y en ocasiones no se tienen los reactivos u otros elementos para realizar los estudios de laboratorio.

El estudio de estas especies de pastos ha sido abordado por diversos investigadores, en busca del conocimiento más preciso de los valores alimenticios de los mismos. Entre ellos se encuentran:

- La revisión de los atributos morfológicos y agroproductivos que caracterizan las especies del género *Brachiaria* más utilizadas en el sector ganadero (Olivera et al., 2006).
- La caracterización de los atributos morfológicos, productivos y reproductivos de la *Brachiaria decumbens* (Carrilho et al., 2012).
- El estudio del comportamiento agroproductivo de cuatro nuevas gramíneas pratenses en el municipio Jimaguayú de la provincia de Camagüey (Cruz et al., 2013).

Las investigaciones anteriormente citadas, entre muchas otras, abarcaban la caracterización de las especies a tratar en esta investigación, pero todos los valores habían sido obtenidos a través de métodos experimentales tradicionales, que como anteriormente se expresa presentan diversas limitaciones.

Un estudio más cercano a la presente investigación fue el realizado por Ramírez (2010), que profundizó en un grupo de gramíneas tropicales en el Valle del Cauto, dentro de las cuales se encuentran las especies *Megathyrsus maximus*, *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria brizantha x Brachiaria ruzizensis*, logrando establecer expresiones matemáticas a través de la regresión múltiple, que le permitieron plantear la relación entre algunos indicadores productivos y de calidad, con la edad de rebrote y factores climáticos. Dentro de las expresiones que se obtuvieron ninguna permite determinar el porcentaje de calcio (Ca) y fósforo (P), importantes para elaborar las raciones de los rumiantes, además el rango de error permisible para los predictores no era muy amplio, por lo que para ciertos valores los resultados de las ecuaciones no se acercaron a los datos reales.

A partir de lo anterior surgió la necesidad de predecir los indicadores productivos y de calidad de las especies *Megathyrsus maximus*, *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria brizantha x Brachiaria ruzizensis*, en las condiciones edafoclimáticas del Valle del Cauto, lo cual posibilitaría agilizar el proceso de caracterización y evitar el uso de complejas técnicas de laboratorio.

En este sentido en el mundo de las ciencias de la computación, desde hace varios años, la predicción ha pasado a jugar un papel fundamental, haciendo uso de diversas técnicas como las que brinda la Inteligencia Artificial (IA). Con la cual es posible solucionar problemas que sean de interés, en aras de ahorrar tiempo y recursos en la obtención de resultados productivos. En el caso de las redes neuronales artificiales (RNA) se han destacado progresivamente como herramientas de predicción y clasificación, ofreciendo numerosas ventajas en múltiples áreas, como la agricultura, donde se presentan problemas complejos y no lineales, como el presentado en esta investigación (Bustos, 2005).

Por todo lo anteriormente planteado la presente investigación tuvo como objetivo la obtención de modelos de redes neuronales que permitieran predecir los indicadores productivos y de calidad de las especies *Megathyrsus maximus*, *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria brizantha x Brachiaria ruzizensis* en las condiciones edafoclimáticas del Valle del Cauto.

Materiales y métodos

Para la obtención de un modelo de red neuronal artificial es necesario que el sistema pase por dos fases de operación: aprendizaje o entrenamiento y recuerdo o ejecución. El entrenamiento es de particular interés, pues una característica fundamental de las RNA es que se trata de sistemas entrenables, capaces de realizar un determinado tipo de

procesamiento o cómputo, aprendiéndolo a partir de un conjunto de patrones de aprendizaje o ejemplos (Martín and Molina, 2002).

En la presente investigación para el proceso de aprendizaje se utilizó la herramienta *Neural Network* de *Matlab* 2013b. Además, se escogió la arquitectura de tipo Perceptrón Multicapa, una de las más utilizadas en aplicaciones prácticas, donde se emplea el aprendizaje de tipo supervisado, con los algoritmos de entrenamiento *backpropagation* y de ajuste de pesos *Levenberg-Marquardt*.

Recolección de los datos

La obtención de la información para el entrenamiento ocurrió fuera del contexto de la herramienta, pero fue un paso crítico para el éxito del proceso de diseño de la RNA. Es importante que los datos cubran el rango de entradas para las cuales se utilizará la red. Las redes multicapa pueden ser entrenadas para generalizar dentro de la gama de entradas para las que han sido entrenadas, por lo tanto, ellas no tienen la capacidad para extrapolar, con precisión, más allá de este rango (Beale et al., 2013).

En esta investigación se tienen los siguientes parámetros de entrenamiento (patrones): la edad de rebrote, la temperatura media, la humedad relativa media y la lluvia como predictores, para obtener como salidas el rendimiento de la materia seca (RMS), la digestibilidad de la materia seca (DMS) y materia orgánica (DMO), la energía metabolizable (EM) y neta lactación (ENL), la proteína bruta (PB), el calcio (Ca) y el fósforo (P). Los valores de los patrones fueron tomados de estudios experimentales realizados por especialistas del CEPA en los últimos 5 años. Se utilizaron muestras descriptivas del comportamiento de las especies objeto de estudio, donde se tuvo en cuenta que las entradas coleccionadas cubrieran rangos característicos de la región del Valle del Cauto.

Creación de las redes neuronales

Una vez recolectados los patrones para el entrenamiento se procedió a crear las redes neuronales para cada especie utilizando la herramienta *FittingTool* del *Neural Network* de *Matlab* 2013b, que permite resolver un problema de ajuste de entrada-salida de datos con una red neuronal, en el caso particular de esta investigación fueron escogidas redes unidireccionales Perceptrón Multicapa (*feedforwardnet*) de dos capas, una oculta y una de salida.

Configuración de las redes neuronales

Como se plantea anteriormente se comenzó con redes *feedforwardnet*, con una capa oculta y una de salida. Luego de creadas se procedió a la configuración de las mismas, para ello se definieron inicialmente 4 neuronas en la capa oculta, cantidad que fue variando en función de los resultados del entrenamiento. Se escogieron como funciones de

transferencia la tangente hiperbólica y sigmoïdal logarítmica para la capa oculta, y tangente hiperbólica, sigmoïdal e identidad para la capa de salida, las cuales se fueron combinando en busca de obtener mejores resultados.

Para el entrenamiento se configuró la red con un algoritmo de propagación inversa (*backpropagation*), que contiene un algoritmo de optimización *Levenberg-Marquardt* (*trainln*), que mejora el desempeño de este tipo de red, y la función de aprendizaje gradiente descendente con momento, pesos y bias (*learngdm*), estos últimos fueron inicializados a través del algoritmo *Nguyen-Widrow* (*initnw*), el cual asigna valores aleatorios en el orden de distribución de la región activa de la función de transferencia.

Los datos de entrada (*inputs*) y las salidas deseadas (*targets*) fueron normalizados utilizando el método Min-Max y se dividieron de forma aleatoria en tres conjuntos, entrenamiento (70%), validación o generalización (15%) y prueba (15%). Las muestras de la validación se utilizan para medir la generalización de la red y para detener el entrenamiento cuando la generalización ya no se logra mejorar.

Las configuraciones finales de los modelos de redes neuronales para cada especie estudiada se obtuvieron a partir del entrenamiento y prueba constante. El criterio de evaluación de la eficiencia de las RNA fue el Error Cuadrático Medio (ECM).

Entrenamiento

Cada vez que se inicializa una red *feedforwardnet*, sus parámetros son diferentes y puede generar soluciones diversas, por lo que los modelos de redes neuronales de cada especie una vez creados, configurados y entrenados fueron evaluados buscando la configuración de red de cada cultivo donde se obtuviera el menor ECM. Para ello se variaron diferentes parámetros como: la cantidad de neuronas en la capa oculta (de 4 a 12), las épocas (de 1 a 1000), la tasa de aprendizaje, los pesos y umbrales. Además se evaluó el efecto de las funciones de transferencia: tangente hiperbólica (*tansig*), sigmoïdal logarítmica (*logsig*) e identidad (*purelin*); las que fueron combinadas como se menciona anteriormente. Con la *logsig-purelin* fue donde se obtuvo menor ECM promedio en cada modelo.

Con la combinación de funciones que tuvo menor ECM promedio, se evaluó el efecto del incremento del número de neuronas en la capa oculta. A continuación, se muestran los ECM promedio obtenidos para cada arquitectura probada de las RNA de los cultivos objeto de estudio (Ver tablas 1-3):

Tabla 1 ECM promedio para cada arquitectura de la RNA de la especie *Megathyrus maximus*.

Arquitectura	ECM promedio
4-4-8	0,6415961
4-5-8	0,5862197
4-6-8	0,5297724
4-7-8	0,4846758
4-8-8	0,4746192
4-9-8	0,4307296
4-10-8	0,437517
4-11-8	0,4476867
4-12-8	0,4619369

Tabla 2 ECM promedio para cada arquitectura de la RNA de la especie *Bracharia decumbens*.

Arquitectura	ECM promedio
4-4-8	0,05448461
4-5-8	0,02897745
4-6-8	0,01795688
4-7-8	0,012651225
4-8-8	0,009893059
4-9-8	0,01114864
4-10-8	0,011224817
4-11-8	0,011395273
4-12-8	0,01465799

Tabla 3 ECM promedio para cada arquitectura de la RNA de la especie *Bracharia brizantha x Brachiaria ruzizensis*.

Arquitectura	ECM promedio
4-4-8	0,2212831
4-5-8	0,13235595
4-6-8	0,11428638
4-7-8	0,06688309
4-8-8	0,041050778
4-9-8	0,03325958
4-10-8	0,02563615
4-11-8	0,03127882
4-12-8	0,04490365

Resultados y discusión

De los resultados anteriores se obtuvo la siguiente configuración final de los modelos RNA: tipo Perceptrón Multicapa, algoritmo de entrenamiento de retropropagación del error (*backpropagation*) y algoritmo de ajuste de pesos *Levenberg-Marquardt*, tasa de aprendizaje variable fijada inicialmente en 0.01, coeficiente de momento constante de 0.9, 4 neuronas de entrada, 8 neuronas de salida, una capa oculta con 9 neuronas para la *Megathyrus maximus*, 8 para la *Bracharia decumbens* y 10 para la *Bracharia brizantha x Brachiaria ruzizensis*, y funciones de transferencia logsig-purelin.

Análisis post-entrenamiento

A partir del análisis de los ECM obtenidos en el entrenamiento se adoptaron las siguientes arquitecturas para predecir los indicadores de rendimiento y calidad de las especies *Megathyrus maximus* (4-9-8), *Bracharia decumbens* (4-8-8) y *Bracharia brizantha x Brachiaria ruziziensis* (4-10-8). En las figuras 1, 2 y 3 se puede observar la medición del ECM de las redes entrenadas en una de las repeticiones. Estas figuras no indican ningún problema importante relacionado con el entrenamiento. Las curvas de validación y pruebas son muy similares. Si la curva de la prueba hubiese aumentado significativamente antes de que la curva de validación lo hubiese hecho, entonces es posible que algún sobreajuste pudiese haber ocurrido. En el caso de las arquitecturas donde se obtuvo menor ECM promedio nunca ocurrió sobreajuste en ninguna de las repeticiones efectuadas.

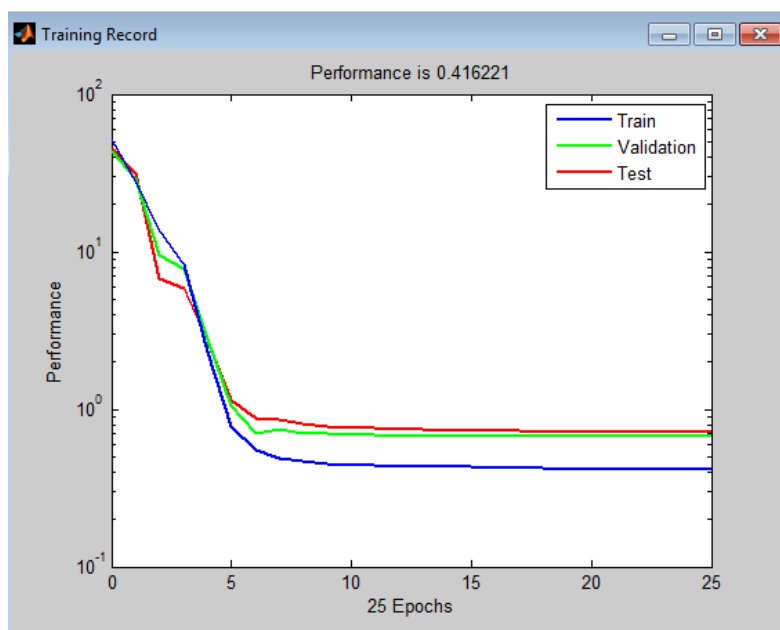


Figura 1 Comportamiento del error en la arquitectura 4-9-8 de la *Megathyrus maximus*.

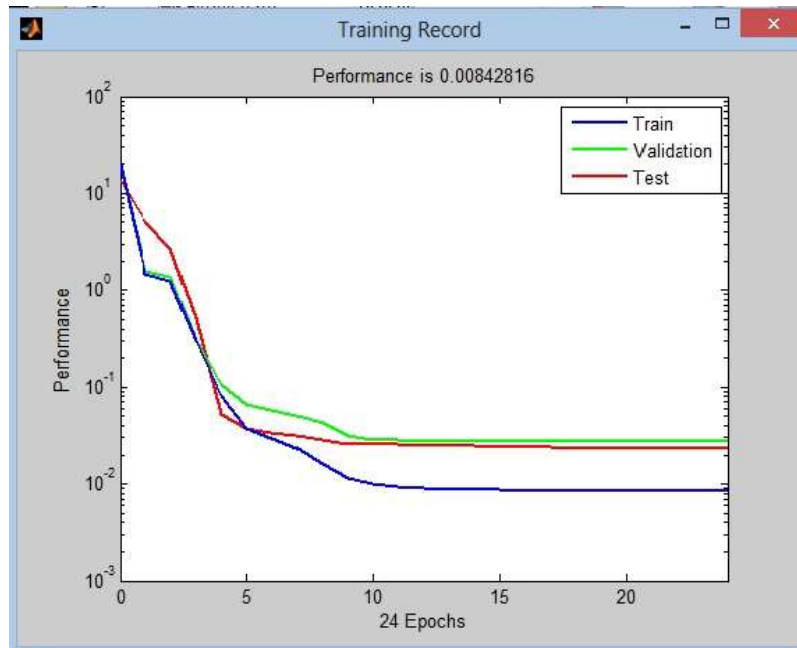


Figura 2 Comportamiento del error en la arquitectura 4-8-8 de la *Bracharia decumbens*.

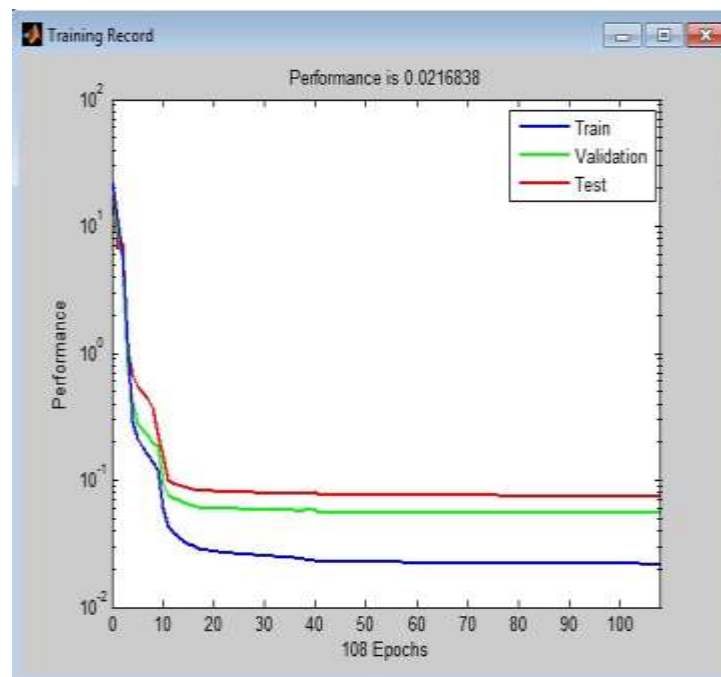


Figura 3 Comportamiento del error en la arquitectura 4-10-8 de la *Bracharia brizantha x Bracharia ruzizensis*.

Un paso importante en la validación de la red fue crear gráficos de regresión, que muestran la relación entre las salidas real y la salida deseada (ver figura 4, 5, 6).

Cada imagen contiene cuatro gráficos, los tres primeros representan los subconjuntos de datos de entrenamiento, validación y prueba utilizados, y el último todo el conjunto de patrones. La línea discontinua representa un resultado perfecto, es decir si la salida de la red hubiera sido igual la salida deseada. La continua representa la mejor línea de regresión de ajuste lineal entre la salida real y la salida deseada de la red.

En todos los casos se puede observar que las redes aprendieron a fijar bien los datos, dado que es una relación lineal que intercepta el origen y el extremo superior derecho del cuadrado de los gráficos.

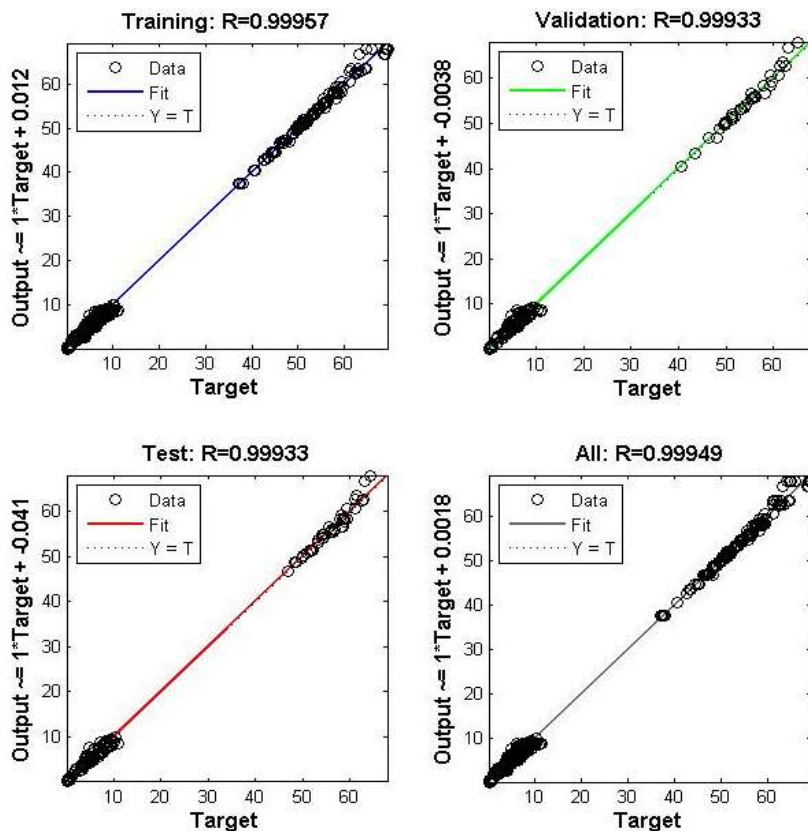


Figura 4 Análisis de regresión en la arquitectura 4-9-8 de la *Megathyrus maximus*.

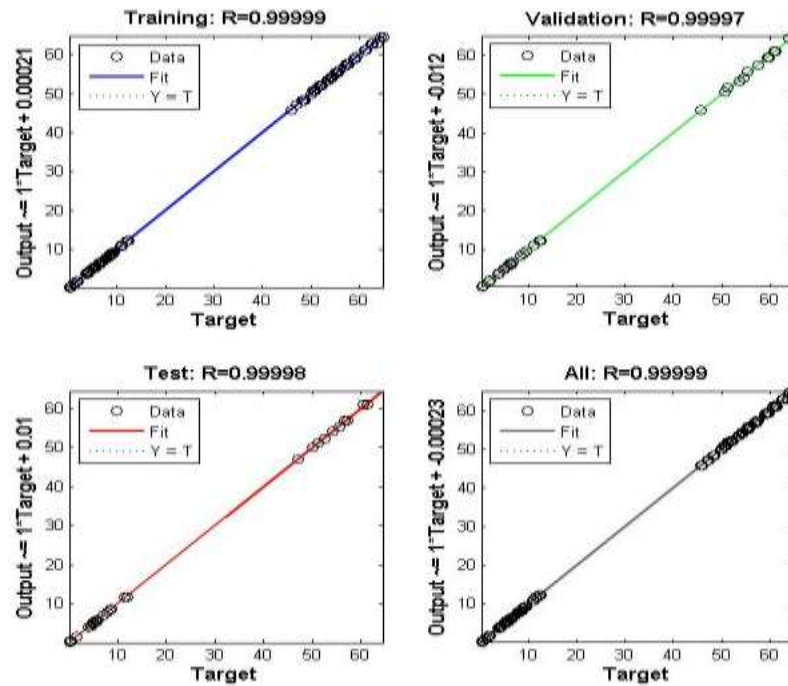


Figura 5 Análisis de regresión en la arquitectura 4-8-8 de *la Bracharia decumbens*.

Gutiérrez and Vara (2003) mencionan que el coeficiente de correlación (R) mide la intensidad de la relación lineal entre dos variables X e Y, razón que justifica su inclusión en el criterio de comparación. En las figuras se observa que los coeficientes de correlación son superiores a 0.9, esto indica una asociación muy buena, tal como lo refieren los mencionados autores.

Según Saiedirad and Mirsalehi (2010) el valor final del ECM debería ser lo más cercano a cero dentro de los rangos aceptados como predicción eficiente. En las figuras 7, 8 y 9 se muestran los histogramas del error con 20 rectángulos (Bins), de entrenamiento, validación y prueba de la red, donde la mayoría de los errores están cercanos al cero, y pocos alejados de ésta referencia.

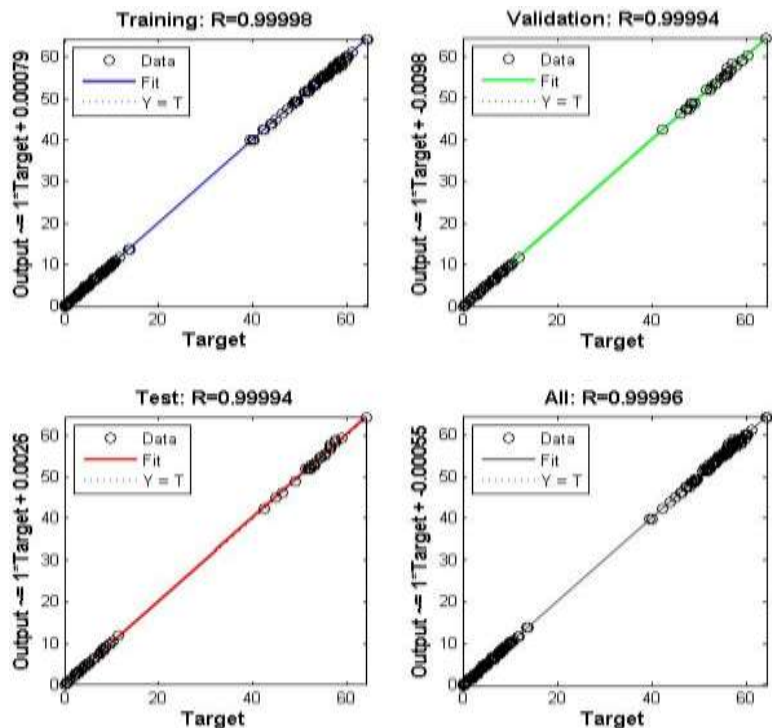


Figura 6 Análisis de regresión en la arquitectura 4-10-8 de la *Bracharia brizantha x Brachiaria ruziziensis*.

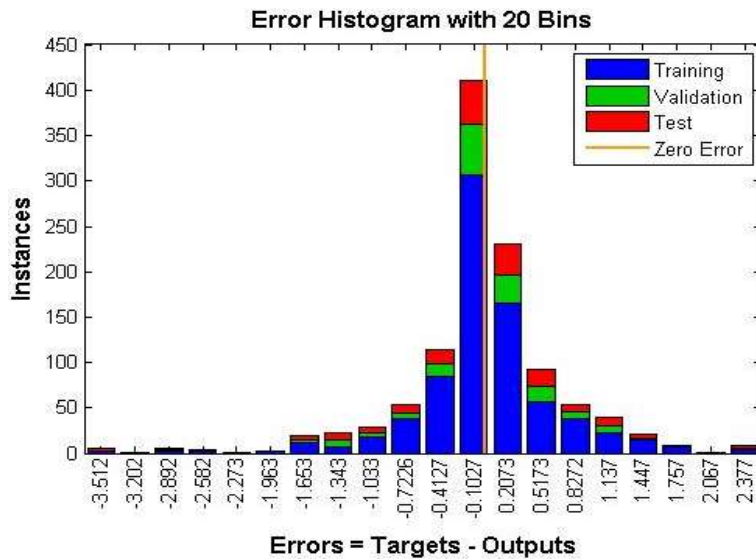


Figura 7 Histograma del error en la arquitectura 4-9-8 de la *Megathyrus maximus*.

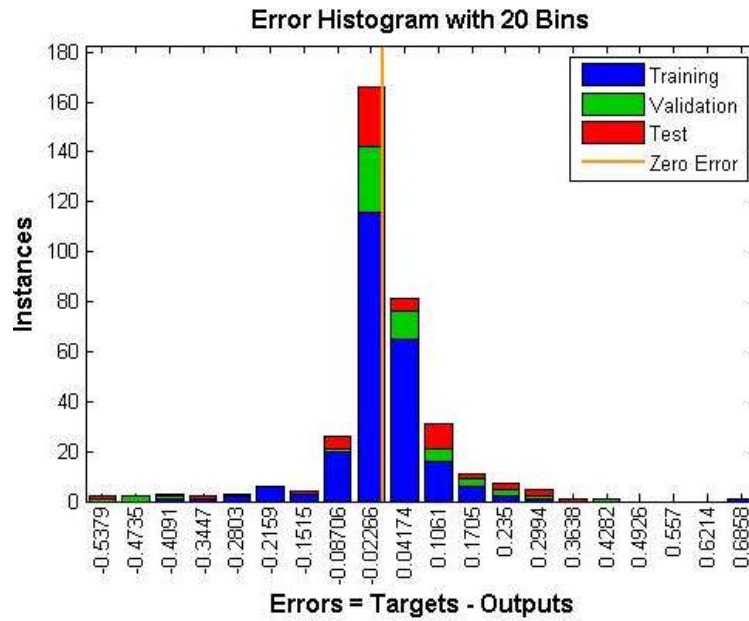


Figura 8 Histograma del error en la arquitectura 4-8-8 de la *Bracharia decumbens*.

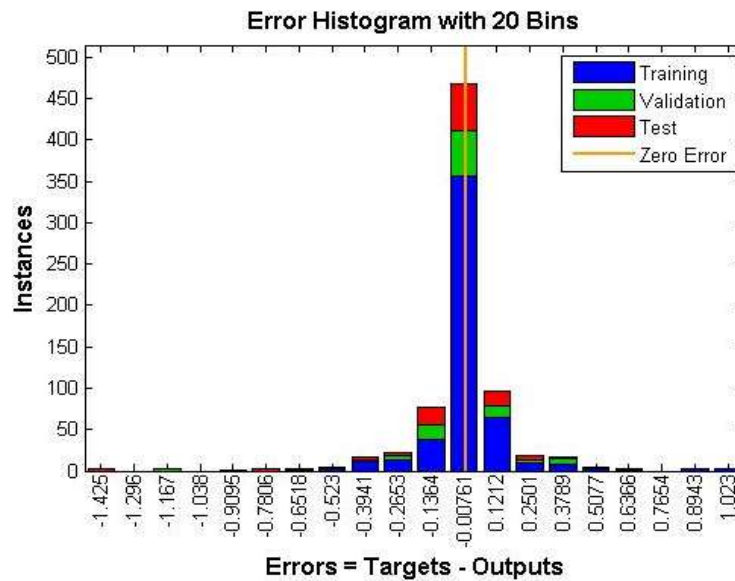


Figura 9 Histograma del error en la arquitectura 4-10-8 de la *Bracharia brizantha x Brachiaria ruziziensis*.

Conclusiones

Con el desarrollo de esta investigación se obtuvieron modelos de redes neuronales que predicen indicadores productivos y de calidad de las especies *Megathyrus maximus*, *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria brizantha x Brachiaria ruziziensis* a partir de factores climáticos y edad de rebrote, en las condiciones edafoclimáticas del Valle del Cauto, que posibilitarán agilizar el proceso de caracterización de estos pastos y evitar el uso de complejas técnicas de laboratorio.

Referencias

- Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T.; Castel, V.; Rosales, M.; Haan, C.d. La larga sombra del ganado. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma; [23 de marzo del 2015]. Available from: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/a0701s/a0701s00.pdf>
- Calzadilla, D.; Soto, E.; Hernández, M.; González, M.; García, L.; Campos, E.; Suárez, M.; Castro, A.; Andrial, P. Capítulo: I. Generalidades de la producción ganadera en el trópico. Situación actual y perspectivas. IV. Crianza de terneros. Generalidades. Ganadería Tropical. 2006:7-110.
- Mármol, J.F. Manejo de pastos y forrajes en la ganadería de doble propósito. X Seminario de Pastos y Forrajes Universidad de Zulia, Venezuela. 2006:1.
- Cáceres, O.; González, E. Metodología para la determinación del valor nutritivo de los forrajes tropicales. Pastos y Forrajes. 2000;23(2):87.
- Herrera, R.S. Ecofisiología. Su relación con la producción de pastos., Curso impartido en la Universidad de Nareño, Colombia CD-ROM 2006. p. 134.
- Hernández, D.; Carballo, M.; Reyes, F. Reflexiones sobre el uso de los pastos en la producción sostenible de leche y carne de res en el trópico. Pastos y Forrajes 2000;23(4):269.
- Olivera, Y.; Machado, R.; Pozo, P.P. Características botánicas y agronómicas de especies forrajeras importantes del género *Brachiaria*. Pastos y Forrajes. 2006;29(1):5.
- Carrilho, P.H.M.; Alonso, J.; Santo, L.D.T.; Sampaio, R.A. Comportamiento vegetativo y reproductivo de *Brachiaria decumbens* vc. *Basilisk* bajo diferentes niveles de sombra. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 2012;46(1):85.

Cruz, M.C.; Rodríguez, L.C.; Viera, R.G. Evaluación agronómica de cuatro nuevas variedades de pastos. Revista de producción animal. 2013;25(1):5.

Ramírez, J. Rendimiento y calidad de cinco gramíneas en el Valle del Cauto [Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Veterinarias]. [La Habana. Cuba]; 2010.

Bustos, J.R. Inteligencia Artificial en el Sector Agropecuario; [29 de septiembre de 2015]. Available from: <http://www.docentes.unal.edu.co/jrbustosm/docs/estado2.pdf>

Martín, B.; Molina, A.S. Redes neuronales y sistemas borrosos. 2 ed. España: Alfaomega. Ra-Ma; 2002.

Beale, M.H.; Hagan, M.T.; Demuth, H.B. Neural network toolbox users guide. United States of America: The MathWork Inc; 2013.

Gutiérrez, H.; Vara, R.D.L. Análisis y diseños de experimentos. México: McGraw-Hill Interamericana; 2003.

Saiedirad, M.H.; Mirsalehi, Y. Prediction of mechanical properties of cumin seed using artificial neural networks. Journal of Texture Studies. 2010;41(1):34.