



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**EFFECTO DE UN SISTEMA SILVOPASTORIL SOBRE LA
CALIDAD DE LA LECHE, COMPARADO CON UN SISTEMA
DE PRODUCCIÓN CONVENCIONAL**

Mauricio Quevedo Pantoja

Ingeniero Agroindustrial

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
POSGRADOS FACULTAD DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
MAESTRIA EN INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
PALMIRA
2014**

**EFFECTO DE UN SISTEMA SILVOPASTORIL SOBRE LA
CALIDAD DE LA LECHE, COMPARADO CON UN SISTEMA
DE PRODUCCIÓN CONVENCIONAL**

Mauricio Quevedo Pantoja

Código: 7911010

**Trabajo de tesis de grado como requisito para optar al título de
Magister en Ingeniería Agroindustrial**

DIRECTOR:

M.Sc. Ricardo Malagón Manrique

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
POSGRADOS FACULTAD DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
MAESTRIA EN INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
PALMIRA
2014**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE PALMIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ACTA DE JURADO DE TRABAJO FINAL

MAESTRÍA EN INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

En Palmira, a los 19 días del mes de Noviembre de 2014, se reunió en esta Sede los Jurados Evaluadores del Trabajo Final, integrado por: AURORA PEÑA y ELSY LUCIA ESCARRIA, para calificar el trabajo final de maestría de:

MAURICIO QUEVEDO PANTOJA

Titulado:

"EFECTO DE UN SISTEMA SILVOPASTORIL SOBRE LA CALIDAD DE LA LECHE, COMPARADO CON UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN CONVENCIONAL" bajo la dirección del docente Ricardo Malagón.

Después de oír el informe de los jurados evaluadores compuesto por AURORA PEÑA y ELSY LUCIA ESCARRIA, y de haber cumplido con el proceso de evaluación, el trabajo final fue calificado como:

APROBADO

REPROBADO

AURORA PEÑA

ELSY LUCIA ESCARRIA

DEDICATORIA

Noviembre de 2014,

Gracias Dios por ser mi guía y nunca dejarme solo; A mi familia por estar siempre a mi lado y a Diana C. por su apoyo incondicional.

Mauricio Quevedo Pantoja

“Si buscas resultados diferentes, no hagas siempre lo mismo” A. Einstein

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme las fuerzas necesarias para culminar este logro en mi vida.

A mi familia, que siempre estuvo pendiente de mi proceso y me animó a seguir adelante para no desfallecer; resalto la labor de mi madre que siempre será mi ejemplo a seguir por su tenacidad y lucha diaria.

A la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira por la institucionalidad y su búsqueda constante de contribuir a la investigación y desarrollo del país; especialmente agradezco al personal del laboratorio de ciencia animal por orientarme y permitirme realizar todos los análisis necesarios en esta investigación.

A Productos Naturales de la Sabana S.A, que me brindó el tiempo y las herramientas necesarias para el desarrollo de este trabajo, sobre todo a Jaime que desde el principio confió en mí y siempre tuvo una palabra de apoyo para que culminara este objetivo.

A los diferentes profesores que de alguna manera tuvieron injerencia en el desarrollo de este trabajo, Ricardo Malagón, Octavio Gonzales, Hugo Lobaton, Gina Ordoñez, Fernando Estrada y a los jurados por evaluar mi investigación.

También agradezco a mi novia Diana Carolina, porque con su conocimiento y dedicación me apoyó para terminar esta investigación.

A la finca Canada por abrimme sus puertas, a su personal, sobre todo a Javier por compartirme siempre la información solicitada. Y a las demás personas, amigos y compañeros que hicieron parte de este camino.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. MARCO REFERENCIAL	16
1.1 SISTEMAS SILVOPASTORILES	16
1.1.1 Ventajas de los sistemas silvopastoriles	17
1.1.2 Principales arreglos silvopastoriles	20
1.2 BOTÓN DE ORO (TITHONIA DIVERSIFOLIA)	22
1.3 PASTO ESTRELLA (CYNODON NLEMFUENSIS)	27
1.4 PRODUCCION DE LECHE EN COLOMBIA	30
1.5 CALIDAD DE LA LECHE	31
1.5.1 Grasa de la leche	33
1.5.2 Proteína de la leche	36
1.6 REDES NEURONALES ARTIFICIALES	38
1.6.1 Clasificación	40
1.6.2 Aplicaciones	40
1.6.3 Evaluación del desempeño	42
1.6.4 Aplicaciones en ganadería	42
2. DISEÑO METODOLOGICO	45
2.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO	45
2.2 DISEÑO EXPERIMENTAL	47
2.2.1 Diseño del muestreo en campo	47
2.2.2 Variables estudiadas	47
2.2.3 Supuestos del estudio	48
2.3 FASE DE CAMPO	48
2.3.1 Análisis de suelos	48
2.3.2 Análisis bromatológicos de las dos pasturas	49
2.3.3 Practicas de manejo de las pasturas	51
2.3.4 Análisis de grasa y proteína de la leche	52
2.4 ANALISIS ESTADISTICO	55

2.5 IMPLEMENTACION DE LA RED NEURONAL -----	56
2.5.1 Conjunto de datos-----	56
2.5.2 Tipo de red neuronal -----	56
2.5.3 Programación del algoritmo-----	57
3. RESULTADOS Y DISCUSION -----	59
3.1 ANALISIS DE VARIANZA -----	59
3.1.1 Variables bromatológicas de las pasturas-----	59
3.1.2 Variables de la calidad de leche -----	60
3.1.3 Prueba de medias-----	62
3.1.3.1 Pasturas-----	62
3.1.3.2 Calidad de leche -----	69
3.2 REDES NEURONALES ARTIFICIALES -----	73
4. CONCLUSIONES -----	78
5. RECOMENDACIONES -----	79
BIBLIOGRAFÍA -----	80
ANEXOS -----	91

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características principales de los potreros experimentales -----	46
Tabla 2. Análisis de fertilidad de suelos en la finca canada -----	49
Tabla 3. Análisis realizados a la pastura -----	51
Tabla 4. Descripción de los animales utilizados para las muestras de leche-----	53
Tabla 5. Composición del concentrado comercial (Standar 70 de Finca S.A) -----	54
Tabla 6. Rangos y precisión de cada uno de los componentes medidos por el Ekomilk -----	55
Tabla 7. Fuentes de variación y grados de libertad para el modelo de bloques completos al azar para en el análisis de varianza -----	55
Tabla 8. Variables de entrada y salida de la RNA -----	56
Tabla 9. Resultados análisis de varianza para las variables bromatológicas de las pasturas -----	60
Tabla 10. Resultados análisis de varianza para la grasa y proteína de la leche --	61
Tabla 11. Resultados de la prueba de medias para los tratamientos evaluados --	62
Tabla 12. Resultados de la prueba de medias para los tratamientos evaluados --	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cerca viva.....	21
Figura 2. Banco Forrajero	21
Figura 3. Botón de oro (<i>Tithonia diversifolia</i>) de la finca canada. Foto MQP	23
Figura 4. Pasto estrella (<i>Cynodon nlemfuensis</i>) de la finca canada. Foto MQP	29
Figura 5. Producción de leche en América Latina (2010)	30
Figura 6. Producción de leche en Colombia (2000-2013).....	31
Figura 7. Esquema simplificado de la síntesis de AG de la leche.....	35
Figura 8. Características de las redes neuronales artificiales	39
Figura 9. Localización Municipio de Yotoco (Valle del Cauca)	46
Figura 10. (a) Toma de muestra de botón de oro. (b) Cuadro de aforo de pastos (25 cm x 25 cm). (c) Toma de muestra del pasto estrella en asocio con botón de oro.....	50
Figura 11. (a) Muestras empacadas en las bolsas plásticas. (b) Muestras empacadas en las bolsas de papel dentro de la estufa de secado.....	51
Figura 12. Manejo y días de toma de muestra para el potero de BO y ES(BO)	52
Figura 13. Manejo y días de toma de muestra para el potero de ES	52
Figura 14. Grupo de animales pastoreando en el potrero de pasto estrella.	53
Figura 15. Vista general del analizador de leche Ekomilk.....	54
Figura 16. Arquitectura de la red neuronal artificial implementada	57
Figura 17. R^2 vs número de redes para grasa y proteína en BO.....	74
Figura 18. R^2 vs número de redes para grasa y proteína en ES(BO)	74
Figura 19. R^2 vs número de redes para grasa y proteína en ES.....	75
Figura 20. Estimación de grasa y proteína para BO usando la RNA	76
Figura 21. Estimación de grasa y proteína para ES(BO) usando la RNA	76
Figura 22. Estimación de grasa y proteína para ES usando la RNA.....	77

CONTENIDO DE ABREVIATURAS

Abreviaturas	Término
AOAC	Norma técnica internacional
BO	Botón de oro
CEN	Cenizas
CICE	Capacidad de intercambio catiónico efectiva
ENER	Energía bruta
ES	Pasto estrella
ES(BO)	Pasto estrella en asocio con botón de oro
FDN	Fibra detergente neutra
MQP	Mauricio Quevedo Pantoja
MS	Materia seca
PC	Proteína cruda
RNA	Redes neuronales artificiales
SSE	Sum Square Error
SSP	Sistema Silvopastoril

RESUMEN

En este estudio se evaluó el efecto de un sistema Silvopastoril sobre la calidad de la leche, comparado con un sistema de producción convencional, además cuáles factores de la planta afectan los niveles de grasa y proteína en la leche, asimismo se desarrollaron 6 RNA para predecir porcentajes de grasa y proteína.

En el SSP, se utilizó botón de oro (*Tithonia diversifolia*) mientras que para el convencional uno con pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*). Las variables evaluadas para las dos pasturas fueron: MS, CEN PC, FDN, y ENER y para la calidad de la leche se midió el % de GRASA y % de PROTEINA. El análisis de varianza no mostró diferencias significativas para la fuente de variación bloques en las variables bromatológicas de las pasturas ni para las variables de calidad de leche, pero si se encontraron diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) para las tres pasturas evaluadas (BO, ES(BO) y ES). La MS, PC y las CEN tanto para ES y ES(BO) no presentaron diferencias significativas, mientras que el BO si presentaron. Con respecto a las composiciones de FDN, ENER, la grasa y la proteína de la leche fueron significativamente diferentes para los tres tratamientos. BO tuvo un porcentaje superior al promedio en la grasa y la proteína de la leche. Por su parte, el asocio ES(BO) también mostró un porcentaje mayor, comparado con el ES. Para las RNA, se seleccionaron las que registraron el mayor R^2 . El R^2 para la grasa y proteína de la leche en el BO fue de 0,9601 y 0,9622 respectivamente. 0,957 y 0,8957 para la grasa y la proteína de la leche respectivamente en un sistema de ES(BO); para el ES, los valores de R^2 fueron de 0.9646 y 0.938 para la grasa y proteína de la leche respectivamente.

Con el sistema Silvopastoril se obtuvieron los mejores valores de grasa y proteína de la leche, lo que significa una mejor calidad de la misma, comparada con un sistema de producción convencional. Además el uso de las redes neuronales artificiales permitió predecir valores de grasa y proteína para los dos sistemas estudiados, con un alto nivel de predicción.

Palabras claves: Sistema Silvopastoril, tithonia diversifolia, pasto estrella, calidad de leche, redes de neurona.

ABSTRACT

In this study the effect of a Silvopastoral system on the quality of milk as compared to a conventional production system was determined as well as which plant factors were affecting the levels of fat and protein in milk, lastly six RNA to predict percentages of fat and protein were developed.

For the purpose of the research the buttercup as SSP was used (*Tithonia diversifolia*) and for the conventional one with star grass (*Cynodon nlemfuensis*). The variables analyzed for pastures were MS, CEN CP, NDF, and ENER and for measuring the quality of milk the % of FAT and % of PROTEIN were evaluated. The analysis of variance exhibited no significant differences for the source of variation block in the bromatological variables of pastures or for the milk quality variables, but highly significant differences were found ($P < 0.01$) for the three evaluated pastures (BO, ES (BO) and ES). MS, CP and CEN of the ES and ES(BO) did not showed significant differences, whereas BO did. FDN, ENER, fat and milk protein were significantly different for the three treatments. BO had a higher percentage in relation to the fat and milk protein average. Meanwhile, the union ES (BO) also showed a higher percentage compared to the ES. For RNA, the ones showing the highest R^2 were selected. The R^2 for fat and milk protein in the BO was 0.9601 and 0.9622 respectively. 0.957 and 0.8957 for the fat and milk protein respectively in a ES system (BO); for the ES, the R^2 values were 0.9646 and 0.938 for fat and milk protein respectively.

Silvopastoral system obtained the best values of fat and milk protein, which means a better quality of it, compared to a conventional production system. Furthermore, the use of artificial neural networks allowed to predict values of fat and protein for the two systems studied, with a high level of prediction.

Keywords: Silvopastoral System, Tithonia diversifolia, star grass, milk quality, neuron networks.

INTRODUCCIÓN

Según el ministerio de agricultura y desarrollo rural, en Colombia la superficie total agropecuaria está estimada en 51'008.326 has, de las cuales el renglón pecuario ocupa 37'185.336 has. La mayor parte del área pecuaria está dedicada a pastos para la ganadería bovina (aproximadamente 30 millones de has equivalentes al 80.64%), manejada en un 70% bajo sistemas de producción extensivos o convencional, con una capacidad de carga promedio de 0.9 animales por hectárea.

En los sistemas de producción convencional se presentan pasturas en monocultivo y se caracterizan por tener una baja eficiencia en el uso del suelo, sumado a un gran deterioro ambiental a causa de problemas como la deforestación, las quemas, la erosión, la pérdida de la biodiversidad y uso de fertilizantes químicos. Por su parte los sistemas silvopastoriles son sistemas de producción pecuaria en donde las leñosas perennes (árboles y/o arbustos) interactúan con los componentes tradicionales (forrajes herbáceas y animales) bajo un sistema de manejo integral que ayudan a mantener un equilibrio ambiental y ayudan a preservar el suelo, mejorar la capacidad de carga y la productividad. Por lo anterior, el uso de sistemas silvopastoriles en la producción ganadera ha tenido un gran auge en los últimos años, sobre todo en los países que se encuentran en las regiones tropicales

La ganadería bovina en las regiones tropicales se basa en el uso extensivo de praderas de mediano a bajo potencial productivo, con fluctuaciones estacionales en su calidad y producción de biomasa. El uso de leguminosas herbáceas y leñosas, como bancos de proteína, o en asociación con las gramíneas existentes, conlleva a mejoras en la oferta y calidad de la dieta de los bovinos para la producción de leche.

En Colombia, la producción de leche adolece de calidad en cuanto a sus parámetros composicionales (principalmente grasa y proteína), originados por la oferta nutricional (calidad y cantidad de forrajes); una de las causas que genera esta situación es que los sistemas de producción convencionales tienen ofrecimientos de baja calidad en sus pasturas, lo cual repercute en una baja producción de leche por animal como también en una baja calidad de la misma. A esto se le suma que los estándares de compra de leche por las empresas pasteurizadoras tienen en cuenta los parámetros de composición y microbiológicos de la leche para su pago; razón por la cual los productores se pueden ver afectados en sus ingresos.

Se presume que los sistemas de pastoreo con introducción de material vegetal de alta calidad tienen efectos significativos sobre la producción y calidad de la leche. Es así como la producción de leche bajo un sistema Silvopastoril puede ayudar a mejorar la calidad físico química de la leche, comparada con un sistema de producción convencional, incrementando básicamente los porcentajes de grasa y proteína de la leche.

El objetivo general de este trabajo es determinar el efecto que tiene el sistema Silvopastoril sobre la calidad de la leche, comparado con un sistema de producción convencional. Los objetivos específicos son: Determinar los valores bromatológicos del sistema silvopastoril y de pastoreo convencional, estimar los valores de grasa y proteína de la leche en cada uno de los sistemas durante el periodo de estudio y evaluar la relación existente entre los valores bromatológicos de las pasturas con los contenidos de grasa y proteína de leche.

Es importante resaltar el uso de las redes neuronales artificiales (RNA) ya que nos permite conocer el efecto que puede tener cada una de las variables de entrada sobre los porcentajes de grasa y proteína.

Este trabajo representa una opción para apoyar el desarrollo de la ganadería en Colombia, además de continuar con la ardua labor investigativa con el fin de disminuir cada vez más los factores que limitan la implementación de estos sistemas.

1. MARCO REFERENCIAL

En este capítulo se hace inicialmente una descripción de los sistemas silvopastoriles, sus ventajas y los diferentes arreglos que se tienen en la actualidad. Después se hace una reseña del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y el desarrollo que ha tenido en los últimos tiempos. Después se citan algunas investigaciones que se han realizado en torno al estudio del Pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*). Posteriormente se revisa la producción de leche cruda a nacional; luego se define el concepto de calidad de leche y se hace un enfoque en los porcentajes de grasa y proteína. Finalmente, se presenta una breve revisión sobre las redes neuronales artificiales y sus aplicaciones en calidad de leche y sus derivados.

1.1 SISTEMAS SILVOPASTORILES

De acuerdo con (Navas, 2007), los sistemas de producción bovinos en el país se han generado a partir del cambio de uso del suelo, mediante la deforestación de bosques o a través del cambio de áreas de cultivos agrícolas a pasturas. En el diseño del sistema ganadero, es común que se utilicen tecnologías que se han desarrollado bajo condiciones diferentes, sin tener en cuenta las condiciones específicas del agroecosistema, lo que contribuye a la generación de problemas ambientales y económicos.

Dado lo anterior se plantea como una alternativa para la sostenibilidad de la producción bovina el establecimiento de sistemas silvopastoriles; según (Pezo e Ibrahim, 1999) mencionan que los SSP son combinaciones de especies leñosas perennes que interactúan con forraje herbáceo y animales, todos ellos bajo un sistema de manejo integrado. Según los mismos autores, en otros casos los SSP son el resultado de un proceso de regeneración natural como es el caso de los árboles dispersos en potreros.

Para (Montagnini, 1992), los SSP son una opción de producción que favorece de diferentes maneras. Muchos utilizan este sistema para tratar de reducir costos de alimentación del ganado dentro de la finca, así como para obtener una alternativa alimenticia para el ganado en los momentos en los cuales escasea el forraje. Por su parte (Sánchez *et al.*, 2010) plantea que el objetivo fundamental de los SSP, es el incremento de la producción, la productividad y la sostenibilidad

1.1.1 Ventajas de los sistemas silvopastoriles

En los sistemas Silvopastoriles se tienen muchas ventajas, que tienen un impacto directo sobre el suelo de la finca, las pasturas, el animal entre otras. Según (Navas, 2007), existen muchas ventajas que aportan los SSP, ya que al incorporar el árbol como elemento productivo, se hacen aportes a la alimentación animal y genera relaciones positivas entre el suelo, las pasturas y los animales. El árbol aumenta la fertilidad del suelo a través del ciclaje de nutrientes (algunas especies pueden fijar nitrógeno); mejora el balance hídrico; reduce la evaporación, el estrés calórico en los animales a través de la producción de sombra, y las emisiones de CO₂ al fijarlo en el sistema, y permite diversificar la producción (madera, leña, frutos, entre otros). Para (Rusch *et al.*, 2009), los SSP permiten aprovechar el aporte de las leñosas perennes, que está representado principalmente por el reciclaje de nutrientes; por su parte (Arias, 2009), menciona que la implementación de los sistemas silvopastoriles ayudan a la protección del suelo de los efectos del viento y las lluvias. Para (Franco, 2008), los sistemas silvopastoriles favorecen el incremento de la diversidad de especies y el aporte de forraje y nutrientes para los animales. Así mismo (Urbano *et al.*, 2001) menciona que los sistemas silvopastoriles incrementan la producción de leche por animal y por superficie, mejora la dieta de los animales por su mayor aporte de proteína y aumenta la biodiversidad, asimismo disminuye el uso de fertilizantes, especialmente nitrogenados, por la fijación biológica con las leguminosas.

Los sistemas silvopastoriles tienen como principales ventajas, la conservación del suelo, recuperación de pasturas y producción de forraje, según (Navas, 2007) la producción y calidad de forraje depende directamente de la calidad y la fertilidad del suelo. El uso de especies arbóreas mejora el ciclaje de nutrientes dentro de los potreros debido a la recuperación de los mismos a través de sus raíces, y que por lixiviación se encuentran a profundidades a las cuales no tienen acceso las raíces de las pasturas. Las especies leñosas incorporan los nutrientes a su biomasa y luego los regresan a la superficie del suelo a través de los aportes de hojarasca, la cual se descompone liberando nuevamente los nutrientes y dejándolos a disposición de las pasturas. Por su parte (Dart, 1994), menciona tasas de fijación de nitrógeno atmosférico por leguminosas arbóreas de hasta 300 Kg de N₂/Ha/año, efecto positivo en la reducción de costos por fertilización nitrogenada en la finca, sin contar con la recuperación de otros nutrientes por los árboles. Además para (Sánchez, 2007), la presencia de los árboles en el pastizal de gramínea permite potenciar la actividad biológica del suelo y garantizar la estabilidad del sistema.

El ciclaje de nutrientes, la fijación de nitrógeno atmosférico y el recambio radicular (después de podas o ramoneo) por las especies leñosas, además de la protección de la erosión hídrica y eólica, mejoran la calidad física y química del suelo, lo que permite una recuperación de las áreas de pasturas degradadas, es así como (Somarriba, 1995) realizó un trabajo con *Psidium guajava* en arreglos de cercas vivas y árboles dispersos a suelos de pasturas degradadas, los cuales presentaban baja fertilidad. Esta especie rústica, contribuyó a la recuperación de la pastura, además de aportar altas cantidades de forraje para la alimentación del ganado y la producción de leña. Por su parte (Bronstein, 1984), midió el ciclaje de nutrientes en pasturas de *Cynodon nlenfluensis* en monocultivo, y asociadas con especies de árboles leguminosos (*Erithrina poeppigiana*) y no leguminosos (*Cordia alliodora*); este trabajo mostró que en los sistemas de pasturas en monocultivo no

se presentó reciclaje de los nutrientes, mientras que en las pasturas asociadas con árboles hubo aportes de nitrógeno, fósforo y potasio al suelo mediante podas, siendo mayores en todos los nutrientes los aportes de la especie leguminosa, además de los incrementos en la producción de pasto que se presentaron en los sistemas asociados a árboles (1,3 y 3,5 veces más con árboles no leguminosos y leguminosos, respectivamente) versus los de pasturas en monocultivo. Además (Sierra y Nygren, 2006), mencionan que cuando se piensa en un sistema sostenible para producir leche, basado fundamentalmente en el pasto, es necesario la presencia de las leguminosas arbóreas, debido a que, además de mejorar el valor nutritivo de la dieta, desempeñan un papel importante en la fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico, el cual se utiliza por las gramíneas en asociación.

En (Navas, 2007), se menciona que en las fincas ganaderas, la reducción de la base forrajera durante los periodos de sequía es un problema que se agudiza cuando, simultáneamente, se presentan vientos que tienen un efecto desecante sobre la pastura, lo que se refleja en la cantidad y calidad de forraje disponible. También para (Mahecha, 2003) los sistemas silvopastoriles puede incrementar la cantidad total de forraje para los animales dependiendo de factores como el manejo que se le haga a los árboles, la densidad arbórea y la cobertura de copa utilizada, las especies forrajeras involucradas, la condición del pasto y la región analizada. De igual forma, estabiliza la producción forrajera, especialmente cuando se produce sequía y de acuerdo a la especie de árbol asociado, puede proveer forraje a través del follaje o frutos. Esto permite un mejor manejo y un aumento de la eficiencia ganadera.

Otra de las ventajas que se tienen es que los sistemas silvopastoriles ayudan a la reducción del estrés calórico y diversificación de la finca; Según (Navas, 2007), en algunos sistemas la temperatura ambiente afecta negativamente la producción, reproducción y supervivencia de los animales, cuando permanecen en ambientes

con temperaturas fuera de su rango de termoneutralidad o zona de confort. Los animales, al entrar en estrés calórico y no poder liberar el calor interno eficientemente, reducen su consumo, el tiempo de pastoreo y rumia, lo que impide la eficacia de programas de mejoramiento genético y alimentación a partir de monocultivo de pasturas mejoradas. (Cowan *et al.*, 1993) encontró que bajo condiciones tropicales, temperaturas por debajo de 5°C y superiores a 20°C afectan los índices productivos y reproductivos. (Wilson y Ludlow, 1991), menciona que a partir de los 27°C empieza el estrés calórico, y que por encima de 29°C se afecta la tasa de concepción. (Reynolds, 1995), menciona que el uso de sistemas con árboles tiene un gran efecto en ecosistemas tropicales, pues generan microclimas que mantienen a los animales dentro o cerca de su rango de termoneutralidad. (Navas, 2003), encontró reducciones de temperatura bajo la copa de los árboles de 2-9°C, en comparación con áreas abiertas, además concluye que la cobertura arbórea interfiere en el paso de la radiación solar hacia los animales, efecto que, además, los protege en zonas con predisposición a problemas de fotosensibilidad.

1.1.2 Principales arreglos silvopastoriles

(Murgueitio *et al.*, 2006), menciona varios arreglos de sistemas silvopastoriles (SSP): Árboles dispersos en potrero, plantaciones forestales con pastoreo de ganado, cercos vivos, barreras contra el viento, linderos arborizados, corredores biológicos y espacios para el sombrero de animales, sistemas silvopastoriles con manejo de la sucesión vegetal, sistemas silvopastoriles Intensivos, sistemas de corte y acarreo, bancos de proteína puros, policultivos de corte, policultivos de varios estratos y múltiples usos. Por su parte (Navas, 2007) expone diferentes alternativas para la incorporación de árboles en los sistemas ganaderos, entre los cuales se pueden nombrar las cercas vivas (Figura 1), árboles dispersos en potrero, bancos forrajeros (Figura 2), pastoreo en plantaciones forestales o frutales, pasturas en callejones y cortinas rompevientos. Además, estos arreglos

pueden incluir sistemas de dos, tres o más estratos, formados con especies herbáceas, arbustivas y arbóreas, seleccionadas según un objetivo específico (producción de forraje, madera, leña, sombra, etc.) que determinará el manejo y la densidad de siembra.



Figura 1. Cerca viva

Fuente: Pérez (2006)



Figura 2. Banco Forrajero

Fuente: Pérez (2006)

Para (Montagnini 1992), las cercas vivas consisten en hileras de árboles que delimitan una propiedad o un potrero y que a su vez pueden servir para la protección contra el viento y para diferentes propósitos. Esta puede a su vez utilizarse para la producción de forraje, leña, madera, frutos, postes, etc. “Una cerca viva puede ser al mismo tiempo una cortina rompevientos”. Según (Pezo e Ibrahim, 1999) los bancos forrajeros (BF) son áreas en las cuales se siembra de forma compacta las leñosas perennes o las forrajeras herbáceas para maximizar la producción de fitomasa de buena calidad nutritiva. Por poseer altos niveles de energía se le conoce también como banco energético, en el cual se utilizan plantas especiales que transforman la energía del sol en aceites, almidón o azúcar soluble para utilizarlos en alimentación animal (FAO 2001). Según (Holguín e Ibrahim, 2004) los bancos forrajeros se pueden dividir en tres: Proteicos, cuando la especie utilizada proporciona al menos un 15 % de proteína, por ejemplo *Cratylia* (*Cratylia argentea* (Desv.) O. Kuntze), leucaena (*Leucaena leucocephala*) y guácimo (*Guazuma ulmifolia*); energéticos, cuando la especie utilizada presenta altos niveles de energía, como caña de azúcar (*Tripsacum daniellii*) y banco energético - proteico, como los bancos en los cuales se siembra en forma alternada caña y una especie proteica.

1.2 BOTÓN DE ORO (*TITHONIA DIVERSIFOLIA*)

En Colombia se le conoce como Mirasol o Botón de Oro, debido a su color. En Cuba se le denomina Margaritona o Árnica de la Tierra, por su uso (Roig y Mesa 1974). También se le conoce como Quil Amargo, en Guatemala (Nash 1976). El género *Tithonia* comprende diez especies, todas originarias de México o Centro América. Una de ellas, *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, fue introducida a las Indias Occidentales y a Ceylan. Actualmente se encuentra ampliamente distribuida en la zona tropical; se tienen registros del Sur de Méjico, Honduras al Salvador, Guatemala, Costa Rica, Panamá, India, Ceylan (Nash 1976), Cuba (Roig y Mesa 1974) y Colombia. De acuerdo con observaciones preliminares, en Colombia esta

planta crece en diferentes condiciones agroecológicas desde el nivel del mar (30°C) hasta 2.500 msnm (10°C) y precipitaciones de 800 hasta 5000 mm/año y en distintos tipos de suelos de neutros a ácidos y desde fértiles hasta muy pobres en nutrientes.(Gómez et al., 2002)



Figura 3. Botón de oro (*Tithonia diversifolia*) de la finca canada. Foto MQP

(Nash, 1976), describe botánicamente a *Tithonia diversifolia*, como una planta herbácea de 1.5 a 4.0 m de altura, con ramas fuertes subtomentosas, a menudo glabras, hojas alternas, pecioladas, las hojas en su mayoría de 7.0 a 20 cm de largo y, de 4.0 a 20.0 cm de ancho. Con 3 a 5 lóbulos profundos cuneados hasta subtruncados en la base y la mayoría decurrentes en la base del pecíolo, bordes aserrados, pedúnculos fuertes de 5 a 20 cm de largo, inflorescencia en capítulos y con pétalos amarillos.

Entre los principales usos *Tithonia diversifolia*, (Rios, 1993) menciona que es utilizada en apiarios de la zona cafetera como fuente de néctar y polen; cerca a los cultivos es atrayente de insectos benéficos que controlan plagas. Según (Roig y Mesa, 1974), las hojas en maceración alcohólica son utilizadas como la verdadera árnica en Cuba y (Nash, 1976) la menciona como un remedio para la malaria y en el tratamiento de eczema e inflamaciones de la piel de animales domésticos.

En cuanto al manejo agronómico, (Hartmann y Kester, 1995) afirman que la multiplicación por estacas que provienen de plantas herbáceas produce un enraizamiento más eficaz, siempre que las condiciones de corte y siembra sean óptimas, lo que proporciona un alto porcentaje de supervivencia. (Salazar, 1992), manifestó similares criterios y recomendó usar el primer tercio del material vegetativo para la siembra. Sin embargo, es frecuente observar siembras exitosas sin desechar ninguna porción del material cortado (Weaver, 1987).

Composición y valor nutricional. La composición nutricional del botón de oro puede presentar variaciones en función de las condiciones del suelo donde se cultive, así como de otros factores ambientales, siendo de especial importancia considerar el efecto de las temporadas secas o lluviosas a lo largo del año (Gallego et., al 2014).

Según (Pérez, 2009), en los estados de crecimiento avanzado (30 días) y prefloración (50 días), se encontraron los valores más altos de proteína; este autor reportó proteínas de 28,5% y 27,5% a los 30 y 50 días respectivamente. Por su parte (Navarro y Rodríguez, 1990), reportaron en promedio una proteína de 22,6%; valores similares reportaron (Vargas, 1994) y (Rosales, 1996) con 21,5% y 24,2% respectivamente. Por su parte, (Solarte, 1994) reportó valores bajos de proteína (18,9%) en *Tithonia diversifolia*. A los 60 días de corte, (Verdecía, 2011) reportó proteínas de 28,95% y 27,49% en periodo lluvioso y periodo seco, respectivamente.

En cuanto a Materia seca, (Wanjau et., al 1998) reportó porcentajes de 20% a los 50 días de corte; similares resultados tuvo (Verdecia, 2011) con 19,77%; un valor inferior encontró (Solarte, 1994) con 13,5%; por su parte (Rosales, 1996) obtuvo en promedio 24,2% de materia seca.

Acorde con lo reportado por (Navarro y Rodríguez, 1990) y (Mahecha y Rosales, 2005), en términos generales, el follaje de *Tithonia* se caracteriza por un alto contenido de nitrógeno total, una alta proporción de nitrógeno de naturaleza aminoacídica, un alto contenido de fósforo, una rápida degradabilidad y fermentación a nivel ruminal (lo que coincide con las estimaciones de Mehrez y Ørskov, 1977), una baja proporción de N ligado a la fibra dietética insoluble, así como un bajo contenido de fibra y de compuestos del metabolismo secundario. Además, se presume la presencia de sustancias pigmentantes. Estos resultados, analizados de forma comparativa con los de las especies forrajeras de amplio uso, como *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala* (Pedraza, 1994; Iglesias, 2003), muestran la viabilidad de su uso tanto en monogástricos como en rumiantes.

En un trabajo realizado en Ibagué (Navarro y Rodríguez, 1990), se evaluaron contenidos de minerales y proteínas en la planta en cinco épocas de desarrollo 30, 50, 60, 74 y 89 días. Se encontró que el contenido de proteína bruta variaba desde 28.51% a los 30 días de edad hasta 14.84% de la materia seca, cuando se evaluaba a los 89 días. La proteína digestible por los bovinos, también disminuía del 22.19% al 10.08%, para las mismas épocas de crecimiento. El porcentaje de fibra cruda de la materia seca era variable a través del tiempo, con valores entre 1.63% y 3.83%. El porcentaje de humedad del forraje verde varió de 85.9% (a los 30 días), hasta 76.75% (a los 89 días). Los contenidos de calcio y fósforo, expresados como porcentaje de la materia seca, disminuían a medida que se desarrollaba la planta, de 2.25% a 1.65% para el calcio y, de 0.39 a 0.32% para el fósforo. Al comparar estos contenidos con un análisis de suelos del lote donde se

desarrolló el cultivo, se encontró una relación entre los niveles de contenido de minerales en el botón de oro y los contenidos de éstos en el suelo. En otro estudio realizado con follaje de botón de oro se encontró 24.26% de proteína, 23% de materia seca, 21.4% de ceniza y 78.6% de materia orgánica (Rosales 1992).

Con respecto a los metabolitos secundarios, (Ríos, 1998) encontró una cumarina, posiblemente colinina, pero no se cuantificó su nivel. No se observaron manifestaciones de intoxicación en los bovinos ni en los conejos a los que se les suministró forraje de esta especie por varios días consecutivos. En un análisis de metabolitos secundarios realizado por (Rosales, 1992) no se hallaron fenoles ni taninos; mientras que (Vargas, 1994) reportó un bajo contenido de fenoles y ausencia de saponinas. (Mungarulire *et al.*, 1993) encontraron el compuesto citotóxico tagitinin; mientras que (Dutta *et al.*, 1993), además del compuesto tagitinin, detectaron hispidulin, a los cuales se les atribuyen efectos repelentes contra los insectos.

Análisis fotoquímicos. En análisis cualitativos del follaje de botón de oro por medio de los cuales se trató de conocer sobre contenido de metabolitos secundarios, no se encontraron taninos ni fenoles (Rosales 1992). Mientras que Vargas (1994), encontró un bajo contenido de fenoles y ausencia de saponinas.

Utilización en alimentación animal. El botón de oro se ha usado para la alimentación de diferentes especies, por ejemplo en conejos, en la finca La Isabela, ubicada en el Municipio de Valle del San Juan (Tolima), se ha utilizado el follaje de botón de oro para la alimentación de conejas de cría y animales de ceba, el follaje se mezcla con concentrado y pasto de corte para la fase de acostumbramiento. Posteriormente, se utiliza el botón de oro como fuente alternativa de proteína. También se ha utilizado en la alimentación de cerdos; en la vereda la virgen, ubicada en el Municipio de Dagua, el botón de oro es utilizado como parte de la dieta de los cerdos, en mezcla con otros forrajes de la finca como

el nacedero (*Trichanthera gigantea*), plátano (*Musa sp*) y cidra (*Chayota sp*), entre otros (Solarte, 1994).

Además se ha usado para la alimentación de ganado y las cabras, animales que consumen bien este forraje sin necesidad de ser trozado, hasta un diámetro de tallo de 1.0 a 1.5 cm, especialmente cuando se suministra tierno (alrededor de 50 días de edad), época en la cual presenta un buen valor nutricional (Navarro & Rodriguez, 1990).

1.3 PASTO ESTRELLA (*CYNODON NLEMFUENSIS*)

El estrella africana es un pasto tropical perenne de clima caliente, cuyo crecimiento por medio de estolones a menudo leñosos, le permite distribuirse rápidamente al generar raíces profundas y culmos de hasta 1 m de altura que al mismo tiempo producen semillas que facilitan su dispersión (Mislevy 2002, Cook et ál. 2005).

Es más suave, palatable y digestible que el pasto bermuda (*Cynodon dactylon*) y es susceptible al clima frío (Burton, 1993). Se puede establecer entre los 15°N y 15°S de latitud y desde el nivel del mar hasta 2300 msnm, lo cual da un amplio rango de temperaturas (20 a 27°C), sin embargo existen cultivares con mayor resistencia a temperaturas menores (Cook et ál. 2005); además requiere suelos fértiles con humedad y buen drenaje (Mislevy 2002, Smith & Valenzuela, 2002). El pasto estrella es susceptible al ataque de insectos como el gusano soldado (*Spodoptera frugiperda*) y “salivazo” (*Prosapia bicinata*) y enfermedades como royas y manchas de hoja ocasionado por hongos (*Rhizoctonia solani*) (Smith & Valenzuela, 2002).

Composición y valor nutricional. El pasto estrella contiene de 11.1 a 16.9% en proteína cruda (PC), 61.3 a 81.4% en digestibilidad in vitro de la materia seca

(DIVMS), 66.2 a 77.7% en fibra detergente neutra (FDN), 35.5 a 45.4% en fibra detergente ácida (FDA) y de 1.8 a 2.7 Mcal/kg de energía metabolizable (EM) (Laredo, 1985). Por su parte, (Lodoño, 2008) encontró valores bromatológicos muy similares para el pasto estrella, 35,81 g/100g de materia seca, proteína de 9,495 g/100g, 60,87% de fibra detergente neutra y energía de 1,445 Mcal/Kg. (Hernandez, 2000) a 30 días de corte, reportó una materia seca de 24,34%, proteína de 8,49% y fibra detergente neutra de 27,30%; estos valores se expresaron en periodo lluvioso. Este mismo autor encontró que al aumentar los días de corte, el pasto estrella aumentaba la materia seca al igual que la fibra detergente neutra, pero disminuía la proteína (33,71%, 31,95% y 6% respectivamente). De igual manera (Ramón, et., al 1991) encontró para *Cynodon nlemfuensis* a cuatro y ocho semanas de corte y en periodo de lluvias proteína de 8,47% y 6,57% respectivamente; además de fibra detergente neutra de 78,31% y 86,88% en las mismas semanas de corte; por último, la digestibilidad in vitro de la materia seca reportada fue de 49,65% y 44% a cuatro y ocho semanas de corte.

La disponibilidad de biomasa de los pastos de pastoreo se relaciona directamente con la capacidad de carga (unidades animales.ha⁻¹) y sirve como base para elaborar presupuestos forrajeros a través de estimaciones sucesivas de la disponibilidad de biomasa por animal (McCutcheon, 2011). Estimaciones no destructivas de la disponibilidad de biomasa como el Botanal® (Hargreaves & Kerr, 1978), permiten evidenciar deficiencias de forraje que limitan el consumo de materia seca (MS) y el llenado de requerimientos nutricionales de los animales rumiantes (McCutcheon, 2011). Las especies invasoras afectan la disponibilidad de biomasa del pasto estrella al competir por recursos (agua y nutrientes) y espacio en el suelo, lo que limita la producción de forraje de alta calidad nutricional y por tanto el rendimiento de los animales (Esqueda-Esquivel & Tosquy-Valle, 2007).

Cynodon nlemfuensis disminuye su capacidad de rebrote al ser sometido a una alta presión de pastoreo o cortes sucesivos en suelos infértiles, y que facilita a su vez el ingreso de especies invasoras de hoja ancha y céspedes (Cook et al., 2005). El área foliar remanente pos-pastoreo permite rebrotar y recuperar reservas a la planta y de esta forma, el forraje de interés predominará en el terreno (Donaghy & Fulkerson, 2001). El material senescente es el remanente de ciclos de pastoreo previos que los animales no consumen por diversas razones y que puede utilizarse como indicador de eficiencia en el pastoreo (Waite, 1994) sin comprometer el adecuado rebrote y la persistencia de las pasturas (McCutcheon, 2011, Fulkerson & Donaghy, 2001). Pastos como el estrella africana o el kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*), debido a su morfología, tienden a producir mayor cantidad de material senescente, lo cual eventualmente hace que los animales consuman principalmente rebrotes tiernos en el dosel de la pastura sin llegar al estrato inferior, que crea un colchón cada vez mayor (senescencia); sin embargo existen prácticas de manejo de pasturas para disminuirlo y facilitar un rebrote con mejor estructura (más hoja y menos tallo) y más palatable para los animales en pastoreo (Andrade, 2006).



Figura 4. Pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) de la finca canada. Foto MQP

1.4 PRODUCCION DE LECHE EN COLOMBIA

Según ProExport, Colombia se ha posicionado como el cuarto productor de leche en América Latina con un volumen aproximado de 6.500 millones de toneladas por año (Figura 5), superado sólo por Brasil, México y Argentina. A nivel mundial, Colombia ocupa una posición privilegiada al ubicarse en el lugar número 15 dentro del ranking total de productores.

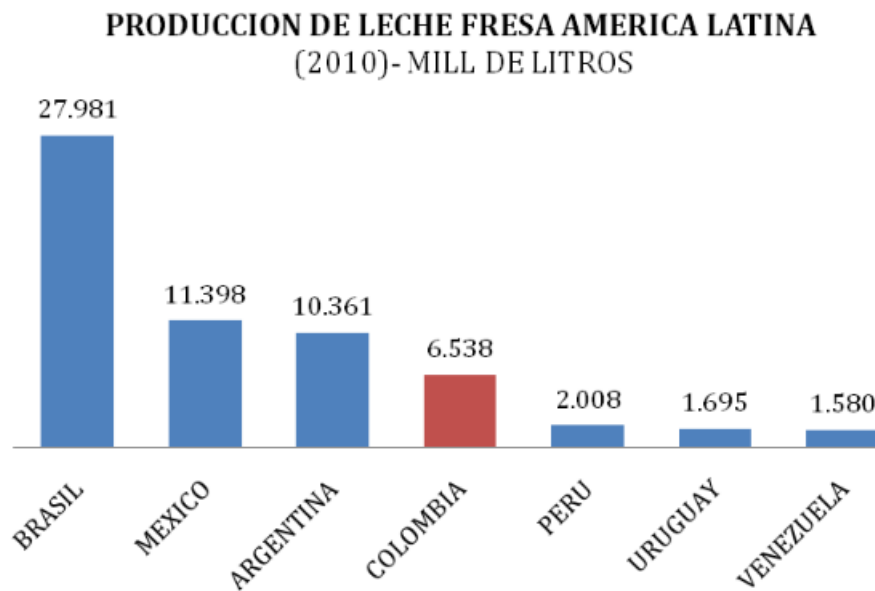


Figura 5. Producción de leche en América Latina (2010)

Fuente: Fedegan (2010)

Según (Fedegan, 2014), el volumen total de producción en Colombia pasó de 2.000 millones de litros en 1979 a 6,600 millones en 2013 (Figura 6), con una tasa de crecimiento promedio de 3.8%. En algunos períodos esta tasa ha sido más alta, así por ejemplo entre 1979 y 1988 creció al 6%. Este incremento es considerable si se tiene en cuenta que el crecimiento vegetativo de la población colombiana es inferior al 2% anual.

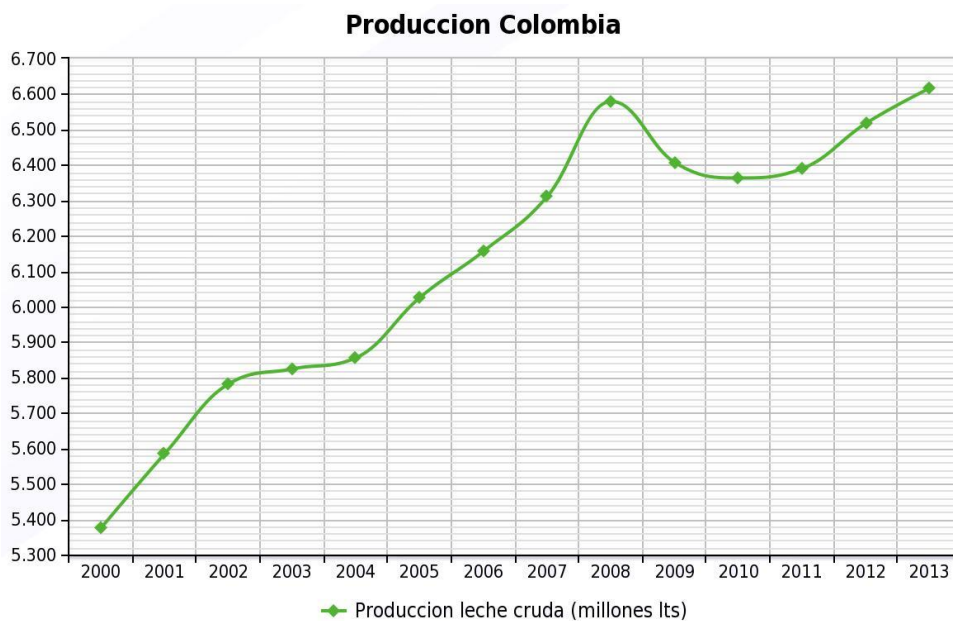


Figura 6. Producción de leche en Colombia (2000-2013)

Fuente: Fedegan (2014)

Para Proexport, la dinámica en la producción primaria se da gracias a las innovaciones en los sistemas de alimentación y manejo del ganado, mejoramiento genético de los hatos, principalmente por compras y renovación de especies altamente productivas. El aumento en la producción de leche en Colombia se ha dado conjuntamente con un incremento en el consumo de lácteos de la población.

1.5 CALIDAD DE LA LECHE

Las nuevas tendencias mundiales en la producción agropecuaria, hacen énfasis en la obtención de productos de alta calidad e inocuos para el consumo humano, siendo la búsqueda de estas características una preocupación constante de todos los constituyentes de la cadena láctea y es a nivel de la finca en donde se deben garantizar las condiciones para la obtención de un producto de óptima calidad (Calderón, 2002).

Para (Allaire, 1997), la calidad estándar de la leche, se refiere a patrones industriales y a la adecuación del producto con las normas y reglamentos vigentes; en otras palabras, está vinculada con normas específicas sobre las condiciones de producción, comúnmente aceptadas a nivel nacional e internacional. Por su parte (Moráis y Espinosa, 1999), consideran que la leche desde el punto de la calidad tiene un alcance muy general en el que van comprendidas, su composición, los diversos elementos que la constituyen, el sabor y el aroma, la posible presencia en ella de sustancias extrañas, la cantidad de microorganismos presentes (patógenos o no) y las acción de los mismos, las condiciones sanitarias del lugar de producción y la manipulación higiénica de la leche desde el lugar de producción hasta el consumidor final. Por ultimo (Calderón, 2002), define por calidad de la leche, a las características nutricionales y microbiológicas; las características nutricionales se definen como el porcentaje de los diferentes constituyentes químicos como: proteínas, grasa, lactosa, minerales, vitaminas, sólidos no grasos y sólidos totales entre otros. La calidad microbiológica se refiere a la concentración de las bacterias de la leche, presencia de microorganismos patógenos, de residuos de antibióticos y medicamentos (inhibidores); que pueden afectar la salud humana y los procesos de transformación de la leche. Conteos altos de bacterias y de células somáticas, producen alteraciones en las propiedades nutritivas y organolépticas de la leche y reducen la vida útil de los derivados lácteos. Las bacterias son normalmente destruidas por la pasteurización, pero en países como el nuestro, las bacterias patógenas constituyen un serio problema de salud pública, por la costumbre de consumir leche cruda y procesar algunos derivados lácteos a partir de leches crudas.

(Calderón, et., al 2006) plantean que al examinar la cadena láctea, desde el consumidor hasta el consumidor, se puede hacer un análisis de todos los factores que afectan la calidad de la leche y sus derivados. Así el mejoramiento de la calidad higiénica de la leche, se realiza a través de un proceso simple y de

resultados rápidos que empiezan con el mejoramiento de las prácticas de ordeño con el fin de evitar la contaminación de la leche y con una perfecta higienización de las cantinas o de los tanques de almacenamiento.

La estructura del frío en la finca como a lo largo de toda la cadena es una variable importante en la conservación de la calidad de la leche, el establecimiento de esta no sólo ayuda a mantener la calidad, sino que optimiza el ordeño y la recolección de la leche por parte de la industria. Una deficiente infraestructura de la red de frío, es una de las limitantes más graves para el fortalecimiento de la industria láctea. También el inadecuado transporte agrava la deficiente calidad de la leche fresca, ya que al hacer uso de vehículos no aptos sin ningún tipo de refrigeración, al recorrido de largas distancias, condiciones que favorecen el crecimiento bacteriano, muchas veces ayudado por las altas temperaturas ambientales (IICA, 1999).

Por lo anterior, los productores de leche del país deben prepararse para enfrentar y aprovechar las oportunidades que ofrecen mercados más abiertos y competitivos, como la integración comercial con MERCOSUR, ALCA, TLC, que hoy en día son una realidad para el país; esto coloca a los productores de leche del país y a la industria láctea en la necesidad de construir una cadena competitiva con posibilidad de preservar el mercado interno y ganar nuevos mercados, inicialmente en el concierto andino.

1.5.1 Grasa de la leche

La gran cantidad de grasas se debe en gran medida a la alimentación del bovino y a la intensa actividad del rumen. En el caso de las focas, el exceso de contenido graso se debe a la dieta basada en peces y es parte de una adaptación natural para que la cría soporte el frío extremo. En el caso de la leche humana, el contenido graso depende de la nutrición equilibrada de la mujer durante el

embarazo y la lactancia; de ahí que una dieta plenamente omnívora beneficie al contenido graso exacto de la leche (Jensen, Ferris, & Lammi-keefe, 1991).

Las propiedades de la leche son el reflejo de los ácidos grasos que contiene. Así tenemos varios grupos de lípidos presentes en la leche: triacilglicéridos, diacilglicéridos, monoacilglicéridos, fosfolípidos, ácidos grasos libres, esteroides y sus ésteres, y algunos glúcidos. Los triacilglicéridos se encuentran como pequeñas partículas llamadas glóbulos. Contienen una gran cantidad de ácidos grasos, identificándose hasta 400 tipos diferentes en la leche de vaca (los aceites tienen entre 8 y 10). La leche es el alimento que tiene la composición lipídica más compleja (Gresti, Bugaut, Maniongui, & Bezard, 1993). Sin embargo, el 96% del total lo conforman sólo 14 ácidos grasos, siendo los más importantes el ácido mirístico, el ácido palmítico y el ácido oleico.

Una parte (alrededor del 40%) de los ácidos grasos de la leche de las vacas se sintetiza desde el inicio en la propia glándula mamaria utilizando como precursores acetato y β - hidroxibutirato procedentes de la fermentación de los hidratos de carbono en el rumen (Figura 7). Esta síntesis está catalizada por dos enzimas: acetil-CoA carboxilasa y AG sintetasa. Esta vía es el origen de los ácidos grasos saturados de cadena corta y media (entre 4 y 14 átomos de carbono) y de aproximadamente la mitad del ácido palmítico (C16:0). El resto del palmítico y los ácidos grasos de cadena larga (principalmente C18:0 y C18:1) proceden de lípidos circulantes en la sangre que tienen su origen en la grasa de la dieta, la grasa microbiana y la grasa movilizada de las reservas corporales. Además, en la glándula mamaria existe actividad Δ -9 desaturasa, a través de la cual una parte del ácido esteárico (C18:0) y del ácido *trans*-11 C18:1 procedentes de la biohidrogenación ruminal se convierten en ácido oleico (*cis*-9 C18:1) y CLA (*cis*-9, *trans*-11 C18:2), respectivamente (De Blas, 2004).

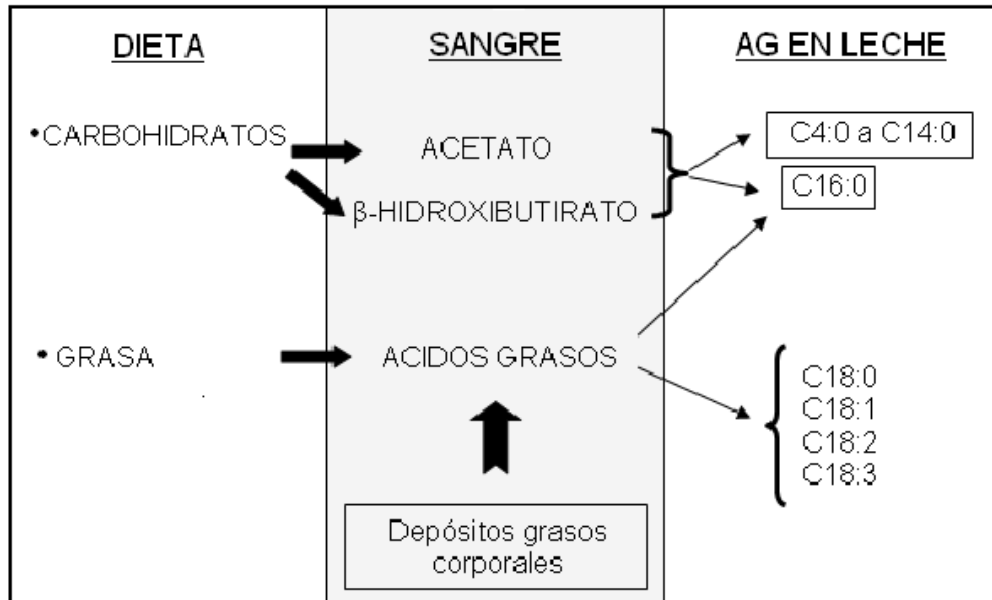


Figura 7. Esquema simplificado de la síntesis de AG de la leche

Fuente: Adaptado de Kennelly (1996).

Para (Bachamn, 1992), el tipo de forraje, la calidad del forraje (madurez, contenido de fibra), el tamaño de partícula o de picado del forraje tiene gran influencia sobre el porcentaje de grasa de la leche. Es así como el forraje finamente molido produce un cambio en los productos de fermentación ruminal con el consiguiente aumento del propionato y la reducción de acetato y por lo tanto disminución del porcentaje de materia grasa láctea. El estado de madurez del forraje es un factor importante en el momento de reunir un nivel adecuado de fibra en la dieta, ya sea, para mantener o incrementar el contenido de grasa láctea. Según (Linn, 1988), la fuente de carbohidratos dietarios, es otro factor a considerar, dado que pueden influir sobre la fermentación en el rumen y consecuentemente sobre el porcentaje de grasa láctea. Por ejemplo la menor o más lenta degradación ruminal del maíz en el rumen en comparación con la cebada podría resultar en la producción de leche con un mayor contenido de grasa.

1.5.2 Proteína de la leche

De todas las proteínas presentes en la leche, las más comunes y representativas son tres, y todas son caseínas: la caseína- α s1, la caseína- β y la caseína- κ (Swaisgood, 2009). La leche de vaca contiene cuatro tipos de caseínas y su concentración es de cerca de 25 g/l de leche. En su estado natural, existen en forma de micelas, que son partículas con diámetro dentro del rango entre 50 nm y 250 nm, consistentes en un complejo de las caseínas con fosfato de calcio. Las características altamente particulares de estas proteínas se deben a su composición o estructura primaria (Dalglish, 1997).

Puesto que las proteínas son iones poliméricos, claramente hay interacciones electrostáticas que generan atracción o repulsión entre varias partes de las cadenas de polipéptidos. Hay una repulsión neta por debajo y por encima del punto isoeléctrico de la proteína; en el primer caso debido a un exceso de cargas positivas y en el segundo debido a un exceso de cargas negativas. La magnitud de estas fuerzas depende de la constante dieléctrica del medio y del grado de protección que imparta la atmósfera de contra iones y el solvente. De cualquier forma, la estabilidad o inestabilidad debidas a las cargas eléctricas dependen de la distribución de las cargas en la superficie de la molécula (Haschemeyer & Haschemeyer, 1973).

Por otra parte (Latriile, 1999), menciona que los factores que más influyen en la concentración de proteína en la leche son la genética y la alimentación siendo el más importante el primero de ellos, existiendo además otras fuentes de variación como son la edad, sanidad de la ubre, etapa de lactación; este concepto coincide con (McDonald *et al.*, 1999 y Velazquez, 2000). Para (McDonald *et al.*, 1999) la raza Jersey produce la leche de mejor calidad, en tanto que la alta producción de la raza Holstein sería la causante de la menor calidad; en este sentido (Goddard y Wiggans, 1996) señalan que la raza Holstein es la dominante a nivel mundial esto principalmente por su alta productividad, sin embargo la raza Jersey se está

convirtiéndose en una alternativa importante principalmente por su altos contenidos de sólidos en la leche y su pequeño tamaño.

Otra fuente de variación de la proteína de la leche (y en general en los sólidos totales) es la etapa de la lactancia en que se encuentra la vaca. Su concentración declina gradualmente las primeras 12 semanas de lactación, posterior a ello vuelve a aumentar esta llegar aproximadamente a los niveles con que se inició la lactancia (Phillips, 2001).

La alimentación es otra variable importante en la concentración de proteína, pero presenta menor incidencia si se compara con su efecto sobre la concentración de grasa, pero está claramente establecido que existe una directa relación con el consumo de energía (Depeters y Cant, 1992). Esta puede ser aumentada (la energía de la dieta) incrementando el consumo de concentrado o bien, mejorando la calidad del forraje (Phillips, 2001). El mismo autor señala que en términos generales un aumento de 10 MJ en el consumo de energía metabolizable (2,4 Mcal aproximadamente), tiene una respuesta de 0,6 g/kg más de proteína en la leche, sin embargo, la respuesta es curvilínea, por lo tanto en altos niveles energéticos la respuesta es menor. (Robinson, 2000) explica que el aumento de la proteína cruda en la leche producto de aumentar el consumo de energía se debe a los cambios asociados a la fermentación ruminal, existiendo un aumento en los nutrientes digestibles de absorción intestinal, o bien por un mayor flujo de proteína bacteriana desde el rumen al intestino.

Por otro lado (Depeters y Cant, 1992) en un *review* sobre el tema encontraron una correlación positiva entre consumo de energía y concentración proteica de la leche, incrementándose el nivel de proteína 0,015 unidades porcentuales por cada megacaloría incrementada en la energía neta. Tanto (Phillips, 2001) como (Depeters y Cant, 1992) coinciden que éste aumento en la concentración proteica va acompañado de un aumento en la producción de leche. En este sentido

(Sutton, 1989), señala que el reemplazar el ensilaje de pradera por melasa en raciones completas, resulta en un incremento de 3,1 a 3,5% de proteína en la leche de vacas en que se reemplazó el 48% de ensilaje.

Para (White, 2001), la concentración de proteína en la leche es de gran importancia en la industria láctea, ésta tiene importantes efectos en la calidad de la coagulación para la fabricación de queso y yogurt, siendo mejor con una mayor concentración de caseína, además está su efecto en rendimiento de la leche en queso, obteniéndose más queso por litro de leche a medida que aumenta la concentración de proteína; de igual manera (Almanza, et.,al 1991), afirma que en la industria láctea, es muy importante la caseína-κ; La caseína-κ es útil principalmente para la elaboración de quesos (la más rica en este tipo de caseína es la leche de vaca, mientras que la más pobre proviene de la leche humana) debido a que al ser hidrolizada por la renina es posible que se precipite en paracaseína-κ, la cual al reaccionar con el calcio genera paracaseinato de calcio.

1.6 REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Una red neuronal artificial (RNA) es un sistema de procesamiento de información que se asemeja a la estructura del cerebro humano, inspirado en las neuronas biológicas (Araujo, 2007). Su funcionamiento desde el punto de vista matemático, se basa en una gran cantidad de unidades de procesamiento simples (neuronas), trabajando en paralelo (Figura 8). Para (Zupan, 1991) las redes neuronales artificiales (RNA) son un conjunto de métodos matemáticos, que abarcan todo lo relacionado con la inteligencia artificial y de alguna manera intentan imitar el funcionamiento del cerebro humano. También para (Bishop, 1996 y Dreyfus, 2005) las redes neuronales artificiales son una familia de modelos matemáticos que utilizan entre sí algorítmicos y se inspiran en el funcionamiento del cerebro humano.

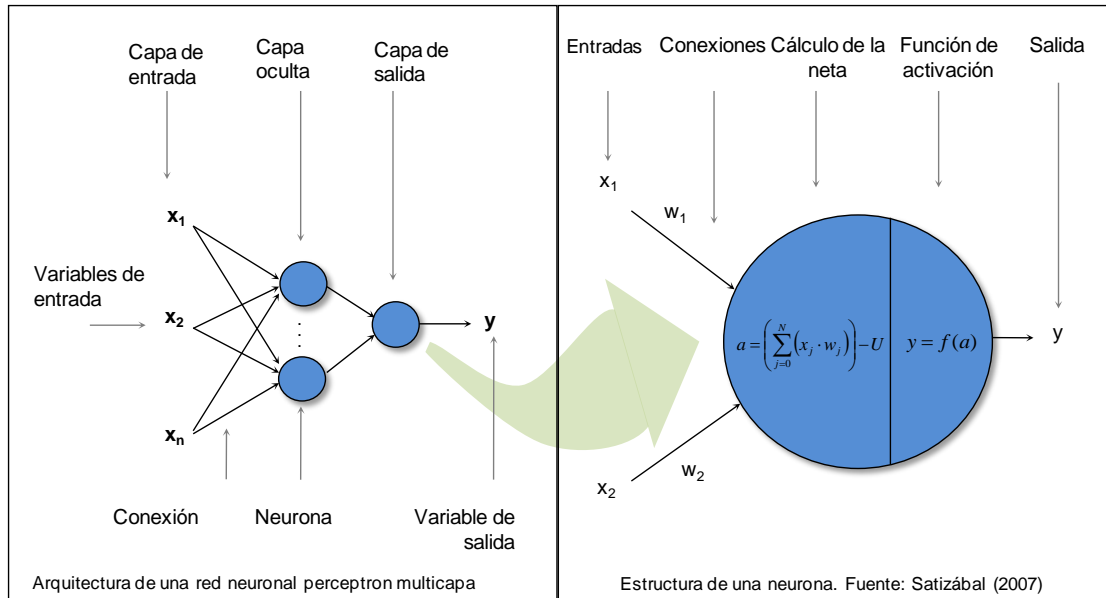


Figura 8. Características de las redes neuronales artificiales

Según (Erazo, 2011) esta herramienta de análisis de información multidimensional o multivariada, tiene la capacidad de aprender a partir de datos históricos, inferir relaciones entre variables, reconocer patrones lineales y no lineales, tolerar datos erróneos, faltantes, o con presencia de ruido, y adaptándose a tendencias globales o locales, predecir el comportamiento del sistema en casos futuros o no conocidos. Es importante destacar que para su implementación no es necesario de un amplio conocimiento del fenómeno, ni de la relación entre sus variables. A diferencia de modelos determinísticos o incluso probabilísticos, donde es necesario un conocimiento detallado a priori del modelo matemático subyacente que controla el fenómeno, las redes neuronales son modelos tipo “caja negra”. Para poder aplicar preliminarmente una red neuronal, basta con disponer de una buena cantidad de datos con relación al número de variables del modelo.

Por otra parte (Marini, 2009) explica que en las ecuaciones que gobiernan las redes neuronales, los parámetros se asocian a las entradas de la unidad, de modo que una "entrada global" de la neurona está construida como una combinación lineal de la x_i entradas, ponderada por los parámetros de salida (denominados

pesos, W_i); la salida de la unidad se obtiene entonces como una función no lineal (llamada f) de esta entrada global, lo anterior se explica en la función que sigue a continuación:

$$y = f(w_0 + \sum_{i=1}^n w_i x_i)$$

1.6.1 Clasificación

Para (Vandeginste, 1998), la clasificación de las RNA se define como la asignación de una variable a una categoría basada en los valores de los índices medidos en él. Según (Erazo, 2011) existen principalmente dos tipos de redes neuronales: las que requieren entrenamiento o *redes supervisadas*, y las que no requieren entrenamiento o *redes no supervisadas*. En las primeras, se distingue la fase de aprendizaje o entrenamiento y la fase de prueba, testeo o validación. En la fase de entrenamiento, se usa un conjunto de datos para determinar los parámetros que definen la red neuronal utilizando un algoritmo de aprendizaje. Este modelo entrenado se usa posteriormente en la fase de validación, en la que se procesan patrones no utilizados durante la fase de entrenamiento, pero de resultado conocido, para probar la eficacia del entrenamiento.

En otro sentido (Marini, et., al 2006), afirma que existe otra clasificación importante en las redes neuronales, que se refiere al tipo de conexiones presentes: Las redes tipo *feed-forward*, donde la red está dividida en niveles o capas, y todas las conexiones van de una capa a la siguiente (no hay conexiones entre la misma capa o anteriores). Son el modelo más extendido y el de uso preferido en la mayoría de las aplicaciones, especialmente en el caso de predicción.

1.6.2 Aplicaciones

Existen muchas aplicaciones de las redes neuronales artificiales, entre las que se destacan 3 tipos:

Predicción: Se puede entrenar una red neuronal utilizando datos conocidos, de forma que aprende y puede predecir el comportamiento del sistema ante otras entradas desconocidas. Esto es importante en numerosos problemas donde no se tiene un modelo confiable que describa el comportamiento del sistema pero sí se cuenta con datos, o sea, entradas para el problema con salida conocida (Erazo, 2011).

Clasificación y clustering: Las RNA pueden ser entrenadas a partir de ejemplos, para dividir un conjunto en dos o más clases, de forma que puedan clasificar objetos nuevos como pertenecientes a una de las clases aprendidas. También se pueden utilizar una red neuronal para dividir un conjunto en clases, sin información previa sobre la posición o composición de las clases (clustering) (Macleod, 1991)

Interpolación y extrapolación de funciones: Las redes son aproximadores universales: pueden aproximar (casi) cualquier función sobre un dominio compacto, a la precisión deseada, soportando y filtrando leves imprecisiones y ruido en los datos (Hilera, 1995).

Lo anterior ha permitido según (Chen, 1995) aplicar redes neuronales con éxito en muchas ramas de la ciencia y la tecnología, desde predicción meteorológica, predicción de precipitaciones, detección de intrusos en redes informáticas, detección de fallas, procesamiento de imágenes, minería de datos y reconocimiento de patrones, reconocimiento de caracteres e incluso aplicaciones a medicina, biología, ciencia de materiales y militares. Entre las áreas de aplicación más difundidas de las redes neuronales se encuentran las telecomunicaciones, el reconocimiento de patrones, la predicción y análisis financiero, el control y optimización de procesos industriales, y aplicaciones en suelos, ingeniería civil y ciencia de materiales.

1.6.3 Evaluación del desempeño

Según (Erazo, 2011) existen dos formas de evaluar el desempeño de las redes: A través del ajuste de los datos calculados por la red con respecto a los datos reales (provenientes del conjunto de evaluación) y a través de la capacidad de predicción de la red neuronal dada por el error global.

(Burder, 1997), explica que para determinar el ajuste de los datos se determina el coeficiente de determinación R^2 , que varía entre 0, cuando la varianza explicada por el modelo es nula, y 1, cuando la varianza residual (error) es nula, es decir, cuando el ajuste es perfecto. Para determinar el error global se utiliza la raíz del error medio cuadrático (RMSE por sus siglas en inglés) que se determina a través de la raíz cuadrada de la suma de las diferencias entre cada salida real y la producida por la red neuronal elevadas al cuadrado.

1.6.4 Aplicaciones en ganadería

Las RNA se están utilizando en ganadería, zootecnia, calidad de leche y en sanidad bovina. (Arbib, 2003). Las aplicaciones de las RNA más utilizadas en leche son la predicción y el reconocimiento de patrones.

Para (Hu et al., 2003), el número de capas y el número neuronas por capa, así como la arquitectura y topología de red en general, depende del número de variables de entrada, el número de variables de salida y la complejidad del modelo subyacente a cada sistema a modelar. El número de neuronas de la capas de entrada y salida es igual al número de variables de entrada y salida respectivamente. La cantidad de neuronas en la capa oculta y cantidad de capas ocultas varían con la complejidad del problema. Si bien es cierto que existen heurísticas asociadas a este proceso, en general se basa en una buena estimación de la complejidad, y un proceso de prueba-error (un problema más complejo implica más capas ocultas y más neuronas en cada capa).

Según (Fernández et al., 2006), un gran número de neuronas genera un sistema más preciso pero con un tiempo de procesamiento mayor. Más aún, las redes neuronales presentan una cantidad exponencial de conexiones por cada neurona que se agrega (conexiones), por lo que existe el llamado “Curse of dimensionality”: Las redes neuronales rápidamente se convierten en imposibles de entrenar. Esto se debe por un lado a que la cantidad de procesamiento excede la capacidad de procesamiento computacional, y por otro lado a que más variables a ajustar requieren más datos, por lo que la necesidad de datos supera los datos disponibles. Esto hace por un lado que sea imprescindible preprocesar los datos y eliminar las variables innecesarias, y por otro lado que si el problema a predecir se estima complejo, la necesidad de datos aumenta.

Una revisión por diferentes bases de datos indica que las investigaciones sobre uso de las redes neuronales artificiales en leche han aumentado en la última década. Algunos ejemplos de la aplicación de redes neuronales en producción de leche los encontramos en (Kominakis, Abas, Maltaris, & Rogdakis, 2002), quienes evaluaron el uso de RNA para predecir curvas de lactancia y la producción de leche de oveja en cinco predios diferentes; para este estudio el autor solo usó una capa oculta; esta red trabajó de manera correcta con 500 datos, pero se requiere aún más investigación; por su parte (Torres, Hervás, & Amador, 2005), usaron las redes para predecir curvas de producción de leche en ovejas; el autor usó una red de una sola capa oculta, al final el autor encontró la red que más se ajustaba para usar predecir las ovejas que iban a tener mejores niveles de producción. (Hassan, Samarasinghe, & Lopez-Benavidest, 2009), usaron las redes neuronales cuales eran los patógenos de la mastitis que mayor y menor impacto tenía sobre la calidad bacteriológica de la leche; para este estudio se usaron 3 tipos de pezones, uno completamente sano, uno con una infección baja y los últimos con una infección mayor. Al final la red neuronal permitió predecir cuales qué tipo de infección a nivel de pezones tenía la vaca de acuerdo a los recuentos bacterianos. (Salazar, 1999), uso las redes neuronales artificiales (RNA), para la clasificación

de la leche cruda, según su contenido celular. Los resultados del análisis de 192 muestras de leche cruda a granel se utilizaron en este estudio, de los cuales 170 se emplearon en la fase de entrenamiento de la red neuronal y 22 muestras en la fase experimental, destinada a probar el poder predictivo de aquella. La red neuronal consistió de 11 entradas correspondientes a las propiedades seleccionadas. En cuanto a las salidas dos fueron consideradas, una para el caso de un contenido de células somáticas mayor o igual a 300.000 cél/ml y otra en caso de un conteo celular inferior a 300.000 cél/ml. La selección de las propiedades se realizó determinando el coeficiente de variación, ya que para un mejor aprendizaje de la red, se descartan aquellas propiedades que presentan un rango de variación menor a 5 %. El poder de predicción de la red neuronal artificial de las 22 muestras experimentales, alcanzó a 18 aciertos, lo que representa un nivel de confiabilidad de un 81,8 %, para predecir el contenido de células somáticas en leche cruda a partir de sus propiedades físico-químicas y de composición.

2. DISEÑO METODOLOGICO

2.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

El presente ensayo se realizó en la Hacienda Canada, ubicada en la vereda Cordobitas, perteneciente al municipio de Yotoco –Valle del cauca- (Figura 9); se encuentra situada a una altura promedio de 1500 msnm, precipitación promedio anual de 1.257 mm/año; temperatura máxima de 26°C y mínima de 18 °C, humedad relativa del 82%; la finca está localizada geográficamente a 03° 50. 723´ N y 076 °27. 899´ W, cuenta con una topografía 35% plana y 65% ondulada; El área total de la finca es de 215,8 hectáreas, distribuidas de la siguiente manera: 185,3 Ha destinadas para potreros de pasto, 23 Ha para bosques y guaduales, 6,2 Ha en vías internas, canales, rio y 1,2 Ha destinadas en infraestructura física. Su base forrajera está compuesta básicamente de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*), además de tres potreros sembrados con botón de oro (*Tithonia diversifolia*). La finca maneja una lechería especializada, donde predomina el cruce de razas holstein negro y rojo, jersey y ayrshire; suplementadas con concentrado y con una producción promedio de 4.900 litros/día; posee un equipo de ordeño de 8 puestos y un tanque de enfriamiento de 6.000 litros. La ganadería se encuentra certificada en buenas practicas ganaderas (BPG).



Figura 9. Localización Municipio de Yotoco (Valle del Cauca)

Fuente: IGAC (2014)

Para desarrollar la investigación se seleccionaron tres potreros de la finca (Potrero 106, 107 y Potrero 58). Las características de cada uno de los potreros se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Características principales de los potreros experimentales

Característica	Potrero 106	Potrero 107	Potrero 58
Área (ha)	1	1,32	0,28
Altitud (msnm)	1.518	1.523	1.515
Pastura predominante	Botón de oro en asocio con pasto estrella	Botón de oro en asocio con pasto estrella	Pasto estrella
Fertilización	NO	NO	SI
Días de rotación	45	45	28
Días de ocupación del potrero	3	3	1

2.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

2.2.1 Diseño del muestreo en campo

Los potreros 106 y 107 corresponden al sistema Silvopastoril, mientras que el potrero 58 corresponde al sistema de producción convencional de pasto estrella. El potrero 58 se dividió en 2 para realizar la toma de muestra del pasto; se rotuló como potrero 581 y potrero 582. Con esto, se usó un potrero de cada sistema para el análisis de las pasturas y el otro como su repetición. Para los potreros 106 y 107 se tomaron tres muestras de botón de oro y tres del pasto estrella que se encontraba en estos potreros; del potrero 581 y 582 se tomaron tres muestras de pasto estrella por cada uno. Al final se obtuvieron muestras de las tres pasturas, botón de oro (BO), pasto estrella que estaba presente en los potreros de botón de oro (ES(BO)) y pasto estrella solo (ES).

2.2.2 Variables estudiadas

Las variables de estudio se dividieron en dos: Las variables de la pastura y las variables de la leche. En las tres pasturas se analizaron, porcentaje de materia seca (MS) por medio de la técnica AOAC 2001.8; el porcentaje de cenizas (CEN) se obtuvo por medio de la técnica AOAC 9942.5; para el porcentaje de proteína cruda (PC) se utilizó el método AOAC 2001.11, el porcentaje de fibra detergente neutra (FDN) se determinó por medio de Van soest et., al, 1991, y la energía bruta (ENER) utilizando la bomba calorimétrica de parr. Las unidades usadas para la energía bruta fueron cal/g.

Para medir la calidad de la leche se evaluaron dos variables, porcentaje de grasa de la leche (GRASA) y porcentaje de proteína de la leche (PROTEINA). Para determinar los porcentajes de ambas variables se utilizó el Ekomilk, que usa como principio de determinación, el ultrasonido.

2.2.3 Supuestos del estudio

Para el presente estudio se tenía considerado evaluar dos tipos de unidades experimentales, ubicadas en zonas diferentes, con condiciones climáticas diferentes y razas diferentes. Con el fin de mitigar el impacto que tendría el escenario anteriormente descrito, se decidió trabajar en una sola finca la cual fue descrita inicialmente en este capítulo.

Para el desarrollo del estudio se consideraron las siguientes condiciones:

- *La mismo tipo racial de las vacas estudiadas.* Teniendo en cuenta que el tipo racial tiene gran incidencia sobre la calidad de la leche, especialmente en su composición (grasa y proteína), se utilizó el mismo lote de vacas en todos los potreros estudiados.
- *El suelo.* El aporte de nutrientes que el suelo hace a la pastura, influye notablemente en los parámetros bromatológicos de cada una de ellas; para descartar esta posible variación, se realizó el estudio en las mismas condiciones edáficas, tanto para el sistema de producción convencional como para el sistema Silvopastoril.
- *No hubo condiciones ambientales extremas durante el periodo de estudio.* Es decir, no hubo incidencia de volcamientos, sequías, inundaciones, quemas de potreros, que afectaran alguno de los parámetros bromatológicos en la pastura y en la asociación botón de oro-pasto estrella.
- *Las condiciones de manejo del rebaño.* Durante todo el experimento se mantuvieron estables las condiciones de manejo.

2.3 FASE DE CAMPO

2.3.1 Análisis de suelos

El análisis de suelos fue compartido por la administración de la finca. Este análisis fue realizado por el laboratorio Agrilab, realizado dos años antes de la investigación. El tipo de suelo de la finca es franco arenoso y los principales resultados se presentan en la tabla 2. El análisis de suelo completo con los

métodos usados para determinar cada una de las variables se presenta en el anexo 1.

Tabla 2. Análisis de fertilidad de suelos en la finca canada

Textura	Materia Orgánica	Fosforo	Calcio	Potasio	Magnesio	Sodio	Micronutrientes				
							Azufre	Hierro	Boro	Cobre	Magnesio
	%	ppm	meq/100g de suelo				ppm				
Franco-arenoso	3,98	10	6,79	0,26	2,25	0,25	16	397	0,05	8,23	27

2.3.2 Análisis bromatológicos de las dos pasturas

El estudio tuvo un tiempo de duración de 98 días, y se desarrolló entre los meses de abril a julio del año 2013, en los cuales se tomaron muestras de cada una de las pasturas (BO, ES(BO) y (ES)), para realizar los análisis bromatológicos de cada una de ellas. Para iniciar la toma de muestras en cada uno de los potreros, se esperó que pasaran siete días después de que el ganado saliera del potrero a estudiar. La toma de muestras se continuó cada siete días hasta antes de la entrada de los animales para el pastoreo. El periodo de descanso para el potrero de pasto estrella fue de 28 días y para el botón de oro 45 días, el periodo de ocupación fue de 1 día y 3 días respectivamente.

Para tomar las muestras de botón de oro, se simuló la acción de ramoneo de los animales, a través de la cosecha total de las hojas y tallos tiernos accesibles al animal (Figura 10a). Para las muestras de pasto estrella en asocio con el botón de oro y pasto estrella solo, se usó un cuadro de aforo de pastos (0,25 m²), que fue arrojado al potrero para determinar la cantidad de muestra a tomar (Figura 10b); al igual que con el botón de oro, para tomar la muestra del pasto estrella, se cortó la parte superior de la pastura, simulando el pastoreo del ganado (Figura 10c).



Figura 10. (a) Toma de muestra de botón de oro. (b) Cuadro de aforo de pastos (25 cm x 25 cm). (c) Toma de muestra del pasto estrella en asocio con botón de oro.

Las muestras de las pasturas verdes, fueron empacadas en bolsas plásticas y rotuladas (Figura 11a) e inmediatamente fueron transportadas al laboratorio de nutrición animal de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, donde fueron pesadas y depositadas en bolsas de papel kraft para después introducirlas en la estufa de secado a una temperatura de 60 °C (AOAC, 1990) durante 24 horas (Figura 11b);



Figura 11. (a) Muestras empacadas en las bolsas plásticas. (b) Muestras empacadas en las bolsas de papel dentro de la estufa de secado.

Las muestras secas eran molidas y de nuevo secadas a 105°C; después de secadas las muestras, estas eran agrupadas y se obtenían cantidades iguales de cada bolsa para tener una sola muestra de cada potrero estudiado y así poder realizar los análisis descritos en la tabla 3.

Tabla 3. Análisis realizados a la pastura

Variable	Unidad	Método de medición
Materia Seca	%	AOAC 2001.8
Cenizas	%	AOAC 9942.5
Proteína cruda	%	AOAC 2001.11
Fibra detergente neutra	%	Van Soest et al, 1991
Energía bruta	cal/g	Bomba calorimétrica de Parr

2.3.3 Practicas de manejo de las pasturas

Como se describe en la tabla 4, los dos potreros de botón de oro no fueron fertilizados, ni se les realizó ningún tipo de manejo. Por su parte el potrero de pasto estrella si fue fertilizado de acuerdo a las recomendaciones del personal técnico que asesora a la finca. El plan de fertilización de la finca se basa en: dosis anuales promedio de 250 kg.ha⁻¹ de N, 113 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, 10 kg.ha⁻¹ K₂O, 17

kg.ha-1 de MgO, 12 kg.ha-1 de S, 10 kg.ha-1 de CaO y 0,72 kg.ha-1 de Zn; asimismo se utiliza de forma rutinaria enmiendas como la cal (Carbonato de Calcio) y cal dolomita (calcio-magnesio). Los fertilizantes comúnmente utilizados fueron fórmulas completas comerciales (10-30-10, 12-24-12 N-P-K), Urea, Nitrato de amonio y DAP. La aplicación del fertilizante se hacía entre 5 y 7 días después de la salida del ganado del potrero. El manejo de cada uno de los poteros y los días de toma de muestras de muestran en las gráficas 12 y 13.

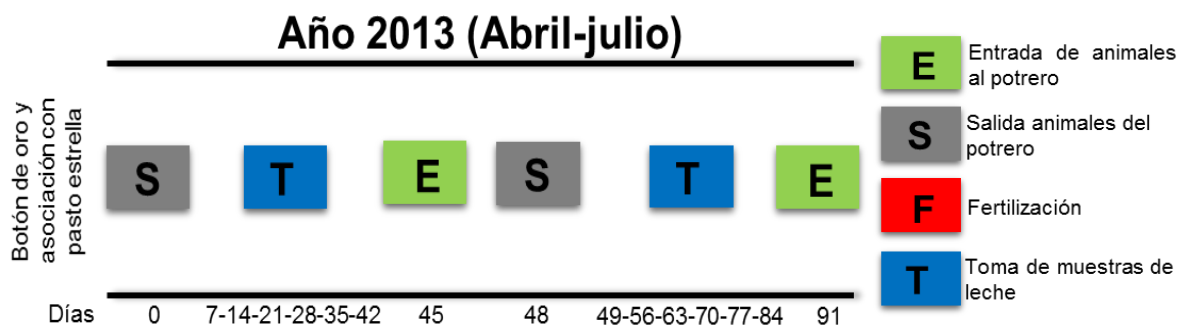


Figura 12. Manejo y días de toma de muestra para el potero de BO y ES(BO)

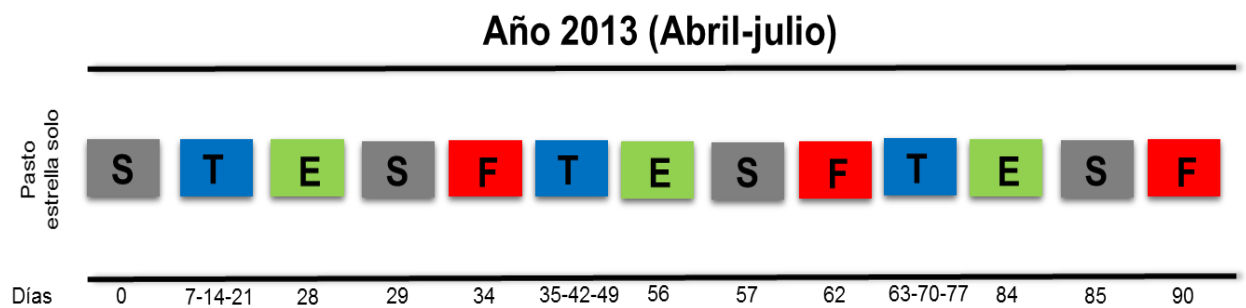


Figura 13. Manejo y días de toma de muestra para el potero de ES

2.3.4 Análisis de grasa y proteína de la leche

Para obtener las muestras de leche, se seleccionó un grupo de 25 vacas de la finca; los animales observados y evaluados estaban conformados genotípicamente por las razas ayrshire y holstein negro. Las características de este grupo de vacas se describen en la tabla 4.

Tabla 4. Descripción de los animales utilizados para las muestras de leche

	Peso (Kg)	Edad (meses)	Número de partos	Días en lactancia	Días de preñez	Promedio de producción (Litros/día)
Promedio	397	150	4	190	40	10

Este grupo de vacas estuvo en rotación por los potreros estudiados, tanto para pasto estrella como para botón de oro; a la salida de cada uno de los potreros se realizaba la toma de muestra de la leche.



Figura 14. Grupo de animales pastoreando en el potrero de pasto estrella.

Para la suplementación, se usó el mismo balanceado comercial (standar 70 de Finca S.A) para todas las vacas; la composición de dicho balanceado se muestra en la tabla 5. La cantidad de concentrado suministrado se estableció de acuerdo a la cantidad de leche producida por el animal (por cada 4 litros de leche, 1 Kilo de concentrado). El concentrado se brindaba únicamente en los dos ordeños.

Tabla 5. Composición del concentrado comercial (Standar 70 de Finca S.A)

Parámetro	Cantidad	Unidades
Humedad	13	%
Proteína	18	%
Grasa	3	%
Fibra	12	%
Cenizas	12	%

Fuente: <http://www.finca.com>

La toma de muestras de leche se realizó cada vez que el grupo de vacas pasaba por el potrero estudiado, en los dos ordeños que tiene la finca (am y pm). Las muestras que se obtenía era de aproximadamente 50 ml/ordeño, y eran el resultado de la producción total del grupo de vacas. Esta muestra se tomaba del tanque de enfriamiento de la finca y antes de hacerlo, se agitaba la leche durante cinco minutos. Las muestras inmediatamente eran transportadas en un termo plástico a una temperatura de 4 °C. Como se muestra en la tabla 5, estas muestras fueron analizadas con un analizador de ultrasonido portátil de leche, llamado Ekomilk (Figura 15), que se encuentra presente en el laboratorio de calidad de la empresa Productos Naturales de la Sabana S.A.



Figura 15. Vista general del analizador de leche Ekomilk

Este equipo permite determinar varias características de la leche tales como porcentaje de grasa, proteína, sólidos no grasos, densidad de la leche, punto de crioscopia y agua agregada; los rangos y su respectiva precisión se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Rangos y precisión de cada uno de los componentes medidos por el Ekomilk

Fracción	Rango de Medición	Precisión
% de Grasa	0,5% - 12%	± 0,1 %
% de Proteína	2% - 6%	± 0,2 %
% Sólidos no grasos	6% - 12 %	± 0,2
Agua Agregada	0% - 60%	± 5 %
Densidad	1,0260g/cm ³ - 1,033g/cm ³	± 0,0005g/cm ³
Punto de congelamiento	0 – 1000 °C	± 0,015 °C

Fuente: Manual de funcionamiento del equipo

Para este estudio solo se tuvieron en cuenta los valores de grasa y proteína obtenidos por el Ekomilk.

2.4 ANALISIS ESTADISTICO

El diseño experimental utilizado fue el modelo de bloques completamente al azar. El análisis de varianza se realizó con una prueba de medias, según las fuentes de variación reportadas en la Tabla 7. Todos los cálculos se realizaron con el programa estadístico SAS 9.3. (SAS Inc., 2012).

Tabla 7. Fuentes de variación y grados de libertad para el modelo de bloques completos al azar para en el análisis de varianza

Fuentes de variación	Grados de libertad
Bloques	1
Tratamiento	2
Error	80
Total corregido	83

Para la presentación de los resultados, la fuente de variación bloques corresponde a los potreros y los tratamientos a los tres tipos de pasturas evaluadas.

2.5 IMPLEMENTACION DE LA RED NEURONAL

La programación de la RNA se realizó con el software Matlab ®. Este software tiene una extensión muy completa para programar la red neuronal (Neural Network Toolbox) y su capacidad de almacenamiento, procesamiento e intercambio de datos es muy robusta, además utiliza modelos de caja negra para realizar las predicciones.

2.5.1 Conjunto de datos

El conjunto de datos está conformado por columnas que son las variables de entrada y salida (ver tabla 8) y las filas que representan los patrones del conjunto de datos; para cada una de las pasturas se usaron 28 conjuntos de datos.

Tabla 8. Variables de entrada y salida de la RNA

Variable	Unidad	Pastura/Leche	Entrada/Salida
Materia Seca	%	Pastura	Entrada
Cenizas	%	Pastura	Entrada
Proteína cruda	%	Pastura	Entrada
Fibra detergente neutra	%	Pastura	Entrada
Energía bruta	cal/g	Pastura	Entrada
Grasa	%	Leche	Salida
Proteína	%	Leche	Salida

2.5.2 Tipo de red neuronal

El tipo de red neuronal utilizado fue el Multi-Layer Perceptron (MLP) con una capa de entrada (representada por las mismas variables de entrada), una capa oculta (con el número de neuronas variable) y una de salida. (Figura 16). Para el estudio, se tuvieron en cuenta como variables de entrada, las características

bromatológicas de cada pastura (MS, CEN, PC, FDN y ENER); y como variables de salida se tuvo en cuenta la grasa y la proteína de la leche. Para cada una de las variables de salida se diseñó una red neuronal.

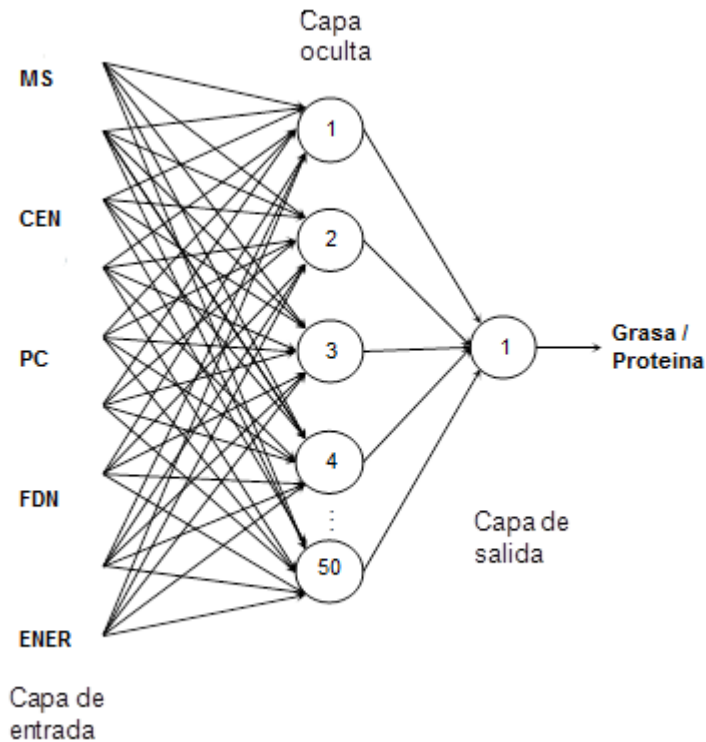


Figura 16. Arquitectura de la red neuronal artificial implementada

2.5.3 Programación del algoritmo

Para determinar cuál fue la mejor arquitectura de cada una de las pasturas estudiadas, primero se cargaron los datos para crear una matriz en Matlab, segundo se programó el algoritmo para que asignara de manera aleatoria que porcentaje del conjunto de datos se usaba para validación, entrenamiento y prueba; para este paso se usó la función `dividerand`. Tercero, se creó la red con una capa de entrada, una oculta con 10, 20, 30, 40 y 50 neuronas y una capa de salida; la red se entrenó 100 veces y se calculó el coeficiente de determinación R^2 . Cuarto, se seleccionó la mejor RNA teniendo en cuenta la de mayor R^2 obtenido,

además de comparar los valores predichos por la red y los obtenidos experimentalmente. Quinto, se guardó la mejor RNA y se almacena un vector de redes neuronales con las 100 repeticiones. El algoritmo de entrenamiento usado fue el scaled conjugate gradient, ya que fue el que mejor se ajustó a las variables estudiadas.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Este capítulo presenta inicialmente los resultados del análisis de varianza; este análisis permite conocer si existen o no diferencias significativas entre los diferentes sistemas de producción estudiados y para cada una de las variables de bromatológicas de las pasturas y de calidad de la leche.

Posteriormente se presentan los resultados de la prueba de medias o análisis de diferencias mínimas significativas, esta prueba organiza las medias de las tres pasturas y las compara encontrando un valor de DMS o LSD mínimo para las variables bromatológicas y de calidad de la leche.

Finalmente se presentan el desempeño del modelo de redes neuronales artificiales, evaluando los valores reales con los predecidos por la red. En esta parte se expone, el número de neuronas utilizadas para obtener el mejor R^2 en cada una de las pasturas, evaluadas en la grasa y proteína de la leche.

3.1 ANALISIS DE VARIANZA

Para el análisis de varianza se presentan los resultados en primera instancia de las variables bromatológicas, después las variables de la calidad de leche. Al final se presentan los resultados del análisis de promedios para las variables mencionadas anteriormente.

3.1.1 Variables bromatológicas de las pasturas

Los resultados del análisis de varianza para las variables bromatológicas de las pasturas, se presenta en la tabla 9.

Tabla 9. Resultados análisis de varianza para las variables bromatológicas de las pasturas

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	MS (%)			CEN (%)			FDN (%)			PC (%)			ENER (cal/g)		
		CM	p	Sig	CM	p	Sig	CM	p	Sig	CM	p	Sig	CM	p	Sig
BLOQUES	1	16,51	0,1777	ns	0,31	0,5891	ns	2,04	0,5409	ns	34,56	0,0852	ns	811,02	0,74	ns
TRATAMIENTOS	2	880,5	0,0001	**	256	0,0001	**	2733,93	0,0001	**	802,7	0,0001	**	923695,3	0,0001	**
ERROR	80	714,79			85,54			434,06			910,46			585062,04		
TOTAL	83															
CV		14,47			8,83			4,07			16,93			2,32		

Según la tabla, se puede observar que entre los coeficientes de variación se presentaron valores relativamente mayores para dos variables (% MS y % PC); lo cual indica un ligero cambio de la materia seca entre las pasturas. Esto se puede atribuir posiblemente a la presencia de varios días de lluvias que se presentaron durante el desarrollo del estudio. Por su parte la proteína cruda pudo verse afectada por el alto contenido que presentó en su composición el botón de oro (Gallego-Castro, Mahecha-Ledesma, & Angulo-Arizala, 2014) comparado con el pasto estrella (Maya Mazorra, Durán Castro, & Ararat, 2005), que en algunas ocasiones lo supera en casi el doble de su contenido.

Para la fuente de variación bloques no se encontraron diferencias significativas para ninguna de las variables bromatológicas, lo anterior permite comprobar que hubo un correcto manejo de la información obtenida para cada uno de los potreros estudiados. Mientras que para todos los tratamientos evaluados se encontraron diferencias altamente significativas ($P < 0,01$), lo que significa que las tres pasturas evaluadas (BO, ES(BO) y ES) presentaron cambios considerables en su composición bromatológica.

3.1.2 Variables de la calidad de leche

El análisis de varianza para la grasa y la proteína de la leche, se exponen en la tabla 10.

Tabla 10. Resultados análisis de varianza para la grasa y proteína de la leche

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	Grasa (%)			Proteína (%)		
		CM	p	Sig	CM	p	Sig
BLOQUES	1	0,0048	0,5752	ns	0,0013	0,3549	ns
TRATAMIENTOS	2	0,37	0,0001	**	0,058	0,0001	**
ERROR	80	1,23			0,12		
TOTAL	83						
CV		3,3			1,25		

En la tabla, se observa que la fuente de variación bloques no presentó diferencias significativas ni para la grasa ni para la proteína de la leche, lo que significa que ninguno de los lotes estudiados tuvo incidencia sobre la calidad de la leche. Por su parte, la fuente de variación tratamientos si presentó diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) tanto para la grasa como la proteína; esto evidenció que las tres pasturas evaluadas influyeron de manera directa sobre los parámetros de la leche.

Los coeficientes de variación son muy bajos para las dos variables estudiadas, 3,3 y 1,25 para grasa y proteína respectivamente; sin embargo el leve aumento que se presentó en el CV de la grasa se puede atribuir a una mala agitación de la leche a la hora de tomar la muestra, ya que esta variable se ve muy afectada sino se realizan los protocolos de muestreo adecuados.

3.1.3 Prueba de medias

3.1.3.1 Pasturas

Los resultados de la prueba de medias para las variables bromatológicas se exponen en la Tabla 11. Como se puede observar el promedio para los diferentes tratamientos: 20,65% de MS, 11,71% de CEN, 57,23% de FDN, 19,92% de PC y 3673,86 cal/g de ENER. Para materia seca, ES y ES(BO) no presentaron diferencias significativas, mientras que el BO presentó diferencias mínima significativa ($P < 0,05$) de 1,5898%. La proteína cruda y las cenizas del BO fueron significativamente diferentes para el ES y ES(BO), pero no fueron diferentes entre estas. La PC para el BO fue de 26,1043% que estuvo muy por encima del promedio y presentó una diferencia al nivel del 5% de 1,7943% entre los tratamientos. El porcentaje de FDN y ENER fue significativamente diferente para los tres tratamientos; la FDN para el BO fue de 46,3764%, la cual está por debajo del promedio obtenido, pero es ligeramente superior al obtenido por (Rosales, 1992), quien encontró un valor de FDN de 40,44% en época seca. Este aumento en la FDN para el BO, se debe posiblemente al procedimiento de muestreo de la pastura, ya que al inicio del estudio las muestras de BO se recolectaban con el tallo completo (que contiene un mayor contenido de fibra) y de esta manera eran procesadas en el laboratorio; en la parte media y final del experimento se corrigió esta toma de muestras y solo se recolectaron las hojas del BO.

Tabla 11. Resultados de la prueba de medias para los tratamientos evaluados

Tratamientos	MS (%)	CEN (%)	PC (%)	FDN (%)	ENER (cal/g)
Botón de oro	14,1975 ^a	15,1868 ^a	26,1043 ^a	46,3764 ^a	3868,81 ^a
Estrella (botón de oro)	24,2793 ^b	9,721 ^b	17,0343 ^b	59,6132 ^b	3643,38 ^b
Estrella	23,4936 ^b	10,2229 ^b	16,6393 ^b	65,7036 ^c	3509,41 ^c
Promedio	20,65	11,71	19,92	57,23	3673,83
DMS 5 (%)	1,5898	0,55	1,7943	1,2398	45,48

Según (Múnica Duque, 1999), la materia seca es de suma importancia dentro del contexto de la producción animal, en cuanto que representa la fracción de la

planta potencialmente comestible y con los más altos contenidos nutricionales. La producción de MS, está determinada en gran parte por el tipo de planta, la altura y edad de corte. Con el botón de oro lo que se busca es producir la mayor cantidad de biomasa de buen contenido nutricional por área.

El bajo contenido de materia seca en los forrajes se ha considerado como un factor que reduce el consumo voluntario en los rumiantes, especialmente cuando el contenido de materia seca es menor a 25% (Pasha, Prigge, Russell, & Bryan, 1994), ya que el alto contenido de agua puede ocasionar un llenado físico a nivel ruminal (Forbes, 2007). En este estudio los tres tratamientos presentaron un porcentaje menor de MS, especialmente del BO que fue de 14,19%

Para (Pozo, Herrera, García, Cruz, & Romero, 2001) en cualquier edad y época del año, el rendimiento de materia seca total fue superior cuando se suministró nitrógeno y sus diferencias fueron más evidentes a partir de la 3ra y 5ta semana para la época de lluvia y la época seca, respectivamente; es por esta razón que se puede atribuir el contenidos mayores de MS para el pasto estrella solo, ya que este pasto tuvo un plan de fertilización; esta situación también se genera por la mayor capacidad del sistema asimilativo que mostró el pasto estrella. Esto permitió efectuar, con mayor eficiencia, la conversión de nitrógeno en materia seca (Ramos *et al.* 1993b)

(Gallego-Castro *et al.*, 2014), mencionan que la composición nutricional del botón de oro puede presentar variaciones en función de las condiciones del suelo donde se cultive, así como de otros factores ambientales, siendo de especial importancia considerar el efecto de las temporadas secas o lluviosas a lo largo del año. Para este estudio, predominó el tiempo seco, con la presencia de algunas lluvias.

Con relación al contenido de proteína (Galindo *et al.*, 2011), mencionan que cuando se utilizan follajes que suministren fuentes de proteínas como el pasto

estrella y botón de oro, compuestos tales como amoníaco, aminoácidos, péptidos y ácidos grasos de cadena corta ramificada serán más disponibles para los microorganismos celulolíticos localizados en el rumen, favoreciendo la degradación de la fibra, lo que también justifica la mayor capacidad de fermentación de la materia seca y, por lo tanto, una rápida disponibilidad de los nutrientes para el rumiante, situación que ya había sido reportada por Mahecha y Rosales (2005).

Tithonia diversifolia presenta entre 20,37 y 23,37% de PC y entre 9,65 y 12,92% de carbohidratos solubles totales (Medina et al., 2009), lo que indica un impacto positivo en la alimentación de vacas de alta producción lechera. En este estudio los valores de PC fueron superiores para el BO; lo anterior es importante, ya que los aminoácidos y péptidos mejoran la eficiencia microbiana en la síntesis proteica y en que el metabolismo del nitrógeno está determinado por la capacidad de las bacterias para utilizar el NH_3 (Guada, 1996), esto en presencia de cantidades adecuadas de energía, lo que hace entonces suponer posibles efectos de *Tithonia diversifolia* sobre la sincronización de N y energía que ingresan al rumen.

En alimentación bovina el nivel crítico de proteína cruda es una pastura es del 7% recomendado para crecimiento microbial en el trópico (Minson, 1990) y es el porcentaje adecuado para los requerimientos del animal y evitar la depresión del apetito y por consecuencia reducciones en el consumo. En el presente estudio, los valores de PC fueron muy similares a los encontrados por (Maya M., Durán C., & Ararat, 2005) quienes obtuvieron los mayores porcentajes para el componente de estrella asociada con *Leucaena* (14,48%), respecto a la estrella sola (11,90%), mientras que *leucaena* virtualmente duplicó el pasto estrella (29,88)%; estos resultados se obtuvieron como respuesta positiva de la presencia de *leucaena* en el sistema asociado y el aporte de nitrógeno, y de nutrientes solubles procedentes de capas más profundas del suelo. Se presume también que actúa como barrera natural de humedad atmosférica y que la sombra influye en el hábito de

crecimiento de la gramínea de cespitosa a erecta. Además (Maya M., Durán C., & Ararat, 2005) indicaron un claro beneficio del sistema Silvopastoril con respecto del uso de fertilizantes químicos para el pasto estrella en monocultivo, tal como lo demuestran los valores tanto para porcentaje de PC, como para la disponibilidad de ésta en cantidad de MS, estos resultados que coinciden la presente investigación.

Existen evidencias de que las especies de plantas no leguminosas, como la tithonia, acumulan tanto nitrógeno en sus hojas como las leguminosas, además de que presentan altos contenidos de fósforo (Wanjau *et al.*, 1998). El follaje de tithonia varía en su calidad nutritiva, en dependencia del estado vegetativo en que se encuentre. De acuerdo con (Gualberto, Souza Júnior, Costa, Braccialli, & Aparecido Gaion, 2010), las publicaciones sobre el valor nutritivo y alimenticio de la *Tithonia diversifolia* son escasas, sin embargo los estudios reportados permiten hacer inferencias sobre la potencialidad de este forraje, que en términos generales se caracteriza por presentar una alta aceptabilidad y altos niveles de proteína, además de su rápida degradabilidad y buen nivel de fermentación ruminal.

Por su parte, los contenidos de proteína cruda en pasto estrella asociados a un sistema Silvopastoril encontrados por (Lamela, López, Sánchez, Díaz, & Valdés, 2009) fueron bajos (8,0-9,5%), comparados con este estudio; el sistema Silvopastoril en (Lamela *et al.*, 2009) se encuentra establecido en suelos fértiles y la gramínea no tuvo aplicación de fertilizantes químicos, información que coincide con el estudio realizado. El contenido de PC en el pasto es una posible consecuencia de la presencia de los arbustos con gran contenido proteico, que tienen la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico en el suelo a través de la simbiosis con los rizobios; a su vez, el N es aprovechado por el pasto estrella que se hallan en el sistema, según (Sierra & Nygren, 2006), quienes estudiaron la fijación del nitrógeno por los arbustos en los sistemas silvopastoriles.

Igualmente (Gualdron Calderón & Padilla Charry, 2007), estudiaron un sistema Silvopastoril de *Acacia decurrens* y *Alnus acuminata* asociadas con pasto kikuyo, (*Pennisetum clandestinum*), encontraron mejores valores en la composición química para el pasto kikuyo en asocio con *A. acuminata*; este resultados se atribuye posiblemente al efecto sombra, la cual, disminuye la incidencia de rayos solares, evita la evaporación de la humedad del suelo, ayuda a mantener la temperatura más estable, disminuye el efecto de los vientos sobre la pradera y mejora la mineralización y dinámica de nutrientes (Pezo, *et al.*, 1992 y Chamorro, 2004 y Russo, 1990) mencionan que el efecto sombra en los sistemas silvopastoriles aumenta en un 5% los contenidos proteicos del pasto y proporciona condiciones favorables al pasto durante la estación seca.

De la misma manera (Castro *et al.*, 2008), encontraron que el contenido de proteína cruda fue superior en la pastura asociada al SSP (20,3%) frente a la pastura de solo gramíneas (16,2%), lo cual estuvo asociado con la presencia de leguminosa. También se puede observar este incremento en el promedio general de las pasturas (21,9% frente a 16,4%). Igualmente, en la pastura asociada al SSP presentó mayor contenido de proteína que en la pastura pura con 18,1 y 16,8% respectivamente.

(Wojcieszka, 1994), menciona que es bien conocido, que el crecimiento y la calidad de los pastos se modifican en correspondencia con los cambios en la concentración de nitrógeno en los suelos, cuando no hay otros elementos minerales deficitarios y se cubran las necesidades nutricionales. Manifiestan sus potencialidades, siempre que las condiciones climáticas no sean limitantes. Esto se fundamenta en la influencia positiva que este elemento ejerce en los procesos fisiológicos y bioquímicos básicos relacionados con el crecimiento del cultivo.

Los contenidos de proteína cruda de la gramínea, encontrados por (Liliana Mahecha, Rosales, Molina, & Molina, 2003) están por debajo de los obtenidos en

el presente estudio. Para el pasto estrella la PC fue de 11,2% e inferior a los de los tratamientos con presencia del SSP, que fue de 14,5 % para el sistema pasto Estrella+SSP. (Liliana Mahecha, Rosales, Molina, & Molina, 2003), mencionan que la gramínea asociada a un SSP sin urea, alcanzó contenidos de proteína similares a la gramínea sola y con fertilización nitrogenada. Esto evidencia las bondades de los SSP en la fijación de nitrógeno atmosférico y en el aporte de materia orgánica. Similares resultados fueron encontrados por (Pozo et al., 2001) que consideraron el nitrógeno como un efecto multiplicativo en la curva de crecimiento en esta especie. Por otra parte (Urbano, Dávila, Cañas, Castro, & Moreno, 2006) encontraron que las gramíneas asociadas a un SSP presentaron mayor contenido de proteína que las gramíneas asociadas a un sistema de producción convencional, posiblemente debido al efecto directo del reciclaje de nutrientes, especialmente el nitrógeno o el efecto indirecto por el sombreado de las arbóreas. (Maya *et al.*, 2005), señalan que el pasto estrella asociado con un SSP supera el contenido de proteína con respecto a esta gramínea pura (14,48% vs. 11,90%).

Según (Lamela et al., 2009) este aumento de las sustancias nitrogenadas en las gramíneas en los sistemas asociados con especies arbóreas, también puede ser una medida de la adaptación de estas plantas a la reducción de la luz por efecto de la sombra proyectada por los árboles, lo cual influye en la fisiología de las plantas. Asimismo la sombra aumenta la macrofauna del suelo, así como la descomposición de la excreta y de la hojarasca del pasto y de los árboles, además de mejorar su capacidad de retención de agua.

De acuerdo con (Naranjo & Cuartas, 2011), el botón de oro presenta un buen balance entre proteína y compuestos fibrosos, en adición a lo manifestado por (Galindo et al., 2011) con respecto a los posibles estímulos para una mayor actividad de la flora celulolítica y menor de la metanogénica, se puede pensar en

el botón de oro como un forraje con buen potencial para la alimentación de vacas lecheras de alta producción.

En el caso de la fibra detergente neutra, los resultados obtenidos por (Gualdrón Calderón & Padilla Charry, 2007) concuerdan con los obtenidos en el presente estudio, presentando una tendencia menor en los contenidos de Fibra Detergente Neutra (46,46%) y Fibra Detergente Ácida (19,35%) para los SSP comparados con la gramínea (52,38% y 23,44% de FDN y FDA respectivamente), características nutricionales asociadas con mayores digestibilidades, mayor consumo voluntario de materia seca y mayor respuesta animal. Lo anterior indica que el forraje estudiado tiene un alto valor energético y demuestra que el asocio con el SSP mejoró la disponibilidad de nutrientes para los animales.

Para (Maya M. et al., 2005) los contenidos de fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) no presentaron diferencias significativas entre los componentes estrella solo y asociado, pero sí entre éstos y *Leucaena*, que está de acuerdo con lo obtenido en esta investigación.

El contenido de FDN, según (Castro et al., 2008) obtuvieron resultados menores para la pastura asociada (44,6%) frente a la pastura de gramíneas (52,6%). También se puede ver que al comparar los valores de FDN de las gramíneas independientemente, los contenidos son muy similares entre sí, frente a la leguminosa del SSP (38,7%). De acuerdo con (Poppi & McLennan, 1995), existe una relación inversa entre los contenidos de FDN y especialmente de lignina con el consumo voluntario, lo cual soporta los mejores resultados de los sistemas silvopastoriles, en esta investigación. Hecho que se puede relacionar con el mejor balance y sincronización entre energía y proteína de la dieta experimental provenientes del forraje asociado con el SSP, presentando una mayor eficiencia de la utilización en la materia seca.

3.1.3.2 Calidad de leche

En la tabla 12 se presentan los resultados de la prueba de medias para las variables de calidad de leche. Los promedios obtenidos para la grasa y la proteína fueron 3,75% y 3,17% respectivamente. Tanto para grasa y proteína presentan diferencias significativas para los tres tratamientos; el BO tuvo un porcentaje superior al promedio en ambas variables. Por su parte, el asocio ES(BO) mostró un porcentaje mayor de grasa y proteína, comparada con el ES. Las diferencias mínimas significativas ($P < 0,05\%$) fueron de 0,066% y 0,0212% para la grasa y la proteína respectivamente.

Tabla 12. Resultados de la prueba de medias para los tratamientos evaluados

Tratamientos	Grasa (%)	Proteína (%)
Botón de oro	3,8792 ^a	3,2239 ^a
Estrella (botón de oro)	3,7482 ^b	3,1592 ^b
Estrella	3,6482 ^c	3,136 ^c
Promedio	3,75	3,17
DMS 5 (%)	0,066	0,0212

Para (Galvis et al., 2003), las principales dificultades de las ganaderías especializadas se originan en la demanda energética por parte de las vacas de mayor producción. Con el afán de dar solución a este aspecto, las vacas reciben alta cantidad de suplementos de tipo comercial, con alto nivel de proteína y carbohidratos solubles, llevando a alteraciones en la actividad ruminal, lo que significa mayor producción de metano, cambios en los niveles de grasa y proteína en la leche y a mayores niveles de nitrógeno ureico, que estarían indicando un importante desbalance entre energía y nitrógeno en el rumen.

En general, existen estudios donde no se han encontrado cambios significativos en la composición de la leche por efecto del consumo de árboles forrajeros (Camero et al., 1993; González et al., 1996; Bobadilla- Hernández et al., 2007;

Faría *et al.*, 2007; Peniche, 2009), aunque otras investigaciones hacen referencia a incrementos en el contenido de grasa o proteína (Urbano *et al.*, 2002; Hernández & Ponce, 2004), sólidos no grasos y sólidos totales en la leche (Hernández & Ponce, 2004). Es posible que tales diferencias sean consecuencia de las condiciones diversas en los cuales los experimentos se han realizado (genotipo de las vacas, nivel de producción, etapa de lactación, composición de las dietas) (Aguilar Pérez, 2004).

La grasa láctea es el principal componente energético de la leche y explica muchas de las propiedades físicas y organolépticas de ésta (Bauman & Griinari, 2001). Los lípidos que predominan en la leche son fundamentalmente triglicéridos (98%), fosfolípidos (1%) y esteroides (0,5%). La grasa de la leche bovina es muy compleja y contiene unos 400 AG diferentes.

Según (Arroyo, 1998), la proteína de la leche en los rumiantes depende en un 60% de la flora bacteriana que produce en el rumen y el restante 40 % de los forrajes con los cuales son alimentados. Es por esto que con el deseo de mejorar el contenido de proteína láctea, y por lo tanto aumentar la calidad de la leche, se requieren explorar nuevas estrategias en los sistemas de alimentación, como lo son la implementación de los sistemas silvopastoriles (Gallego-Castro *et al.*, 2014).

Aunque (Faría *et al.*, 2007), no encontraron diferencias significativas en el contenido de grasa, proteína y en la densidad de la leche de vacas en pastoreo de *Panicum máximum* con acceso de 2 horas a un banco de *Leucaena leucocephala* y suplementadas con 1, 2 o 4 kg de balanceado. Además, estos autores reportan que la acidez titulable de la leche se mantuvo dentro del rango establecido como normal para leche cruda de buena calidad.

(Rivera, Cuartas, Naranjo, & Barahona Rosales, 2003), en estudios realizados en un sistema Silvopastoril y frente a un sistema de producción convencional en el valle del Rio Cesar, encontraron que en el SSPi (El Porvenir) y el sistema de producción convencional (Guadalajara), se presentaron diferencias altamente significativas para porcentaje de grasa ($P < 0.01$) 5,45% y 4,3% respectivamente, al igual que para el caso de la proteína, SNG, sólidos totales, encontraron valores de 3,47% vs 3,36%; 9,2% vs 9,05%, y 14,59% vs 13,24% para cada una de las características mencionadas, algo muy importante para la obtención de mayores rentabilidades; lo anterior concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Resultados diferentes obtuvieron (Urbano et al., 2006), quienes compararon un SSP y un sistema con gramínea, y concluyeron que los diferentes sistemas no afectaban significativamente la calidad de la leche, en relación al contenido de grasas y sólidos totales, con un promedio de 4,11% y 12,91 %, respectivamente. Estudios realizados por (Urbano, Dávila, Moreno, & Castro, 2002) mencionan que la inclusión de un SSP en las pasturas incrementa el contenido de grasas, con valores de 3,64% en leucaena, 4,16% en matarratón y 3,50% en las gramíneas fertilizadas, mientras que los sólidos totales no variaron en las pasturas estudiadas.

(Castro et al., 2008) obtuvieron un promedio general de 3,71% para la grasa de la leche, sin presentar diferencias significativas entre la leche producida en las dos pasturas ($P > 0,05$), aunque el contenido mayor se observó en la pastura asociada (3,91%) al sistema Silvopastoril. Así mismo (Castro et al., 2008), obtuvieron un promedio general de proteína 2,99%, siendo significativamente ($P < 0,01$) mayor en la pastura asociada al SSP con 3,19% frente a la pastura sola (2,80%), lo anterior coincide con lo obtenido en el presente estudio.

Por su parte, (Hernández, Carballo, & Reyes, 1998) al evaluar la producción de leche y su calidad en un sistema Silvopastoril, determinaron que la composición de la leche mantuvo valores entre 3.6% y 4% de grasa; 11.5% y 12.1% de sólidos no grasos, que resultan apropiados para el cruce racial (Holstein x Cebú); además (Hernández & Ponce, 2001) demostraron que la grasa y la lactosa muestran comportamientos similares y en algunos casos la grasa fue superior al obtenido por el cruce (Holstein x Cebú).

Para (Gualdron Calderón & Padilla Charry, 2007), la composición química de la leche no cambió en ninguno de los sistemas estudiados ($P > 0.05$), sin embargo, el nivel de grasa fue levemente superior en el SSP (4.3%), efecto estrechamente relacionado con los mayores niveles de carbohidratos estructurales en la dieta con 46.53% de FDN. Quienes resaltan que las concentraciones de nutrientes en la leche, están asociados con la calidad de la oferta principalmente en carbohidratos estructurales y proteína cruda, a mayor y mejor oferta nutricional en las praderas, mejor calidad y mayor volumen de producción.

Los contenidos de grasa en los tratamientos de la presente investigación, fueron superiores a los obtenidos por (Medrano Leal et al., 1999), quienes encontraron valores entre 2.83 y 2.91%, cuando suplementaron vacas con *Sambucus*, *Tecoma* y *Acacia decurrens* dentro de un sistema Silvopastoril.

De acuerdo con (Gallego-Castro et al., 2014), la suplementación con leguminosas o con forrajeras proteicas mejora el aporte de nitrógeno al rumen, pero para maximizar la eficiencia son necesarias buenas fuentes de carbohidratos tanto solubles como estructurales y es así que la *Tithonia diversifolia* posee una composición en cuanto a la proteína y carbohidratos que la hacen interesante desde este punto de vista, en comparación con otras especies forrajeras arbustivas. Trabajando con vacas F1, (Mahecha et al., 2007) encontraron valores de 3,5% y 3,52% para la proteína en la leche cuando no se incluyó botón de oro

en el suplemento y, 3,8% y 3,84% cuando el suplemento incluyó un 35% de botón de oro, para los ordeños de la mañana y la tarde respectivamente, sin reportar diferencias significativas.

Para (Mesa, 1999), aunque los resultados del sistema Silvopastoril son preliminares, probablemente estos sean promisorios, ya que se han logrado aumentos en la producción diaria de leche por vaca en ordeño y en las producciones mensuales. Teniendo en cuenta lo anterior, (González, Vega, & Castillo, 2002) demostraron que en el sistema Silvopastoril hay un mejoramiento de la producción láctea con un aumento de calidad físico- química de la leche.

3.2 REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Para etapa se utilizó el conjunto de evaluación (test) para el coeficiente de determinación (SSE por sus siglas en ingles) R^2 en 30 arquitecturas, y se seleccionaron las que registraron el mayor R^2 (6 en total), independientemente del número de neuronas en la capa oculta (máximo 50 neuronas). Cada arquitectura se entrenó y evaluó 100 veces utilizando el porcentaje de grasa y proteína de la leche como variables de salida. En las figura 17, 18 y 19 se presenta el R^2 que se obtuvo para cada arquitectura y el número de neuronas en la capa oculta seleccionada.

De acuerdo con las figuras 17 y 18 hay un comportamiento creciente del R^2 a medida que aumenta el número de neuronas en la capa oculta. Es decir, a mayor número de neuronas hay mejor capacidad de predicción del modelo. Dado lo anterior, para las dos pasturas (BO y ES(BO)) el número máximo de neuronas en la capa oculta que se registró en todos los conjuntos de datos fue de 50; de otra parte, la arquitectura para el pasto estrella (ES), evidenció un comportamiento diferente como se muestra en la figura 19. Para la grasa el mejor R^2 que se presentó fue para 40 neuronas en la capa oculta y para la proteína, se tuvo un

comportamiento decreciente a partir de las 20 neuronas en la capa oculta, por lo cual fue esta la arquitectura seleccionada. Para cada una de las pasturas, las arquitecturas seleccionadas indican que, desde el punto de vista del costo computacional (tiempo de procesamiento), este número de neuronas en la capa oculta podría ser un buen límite para implementar el modelo posteriormente, y así tener un buen tiempo de procesamiento.

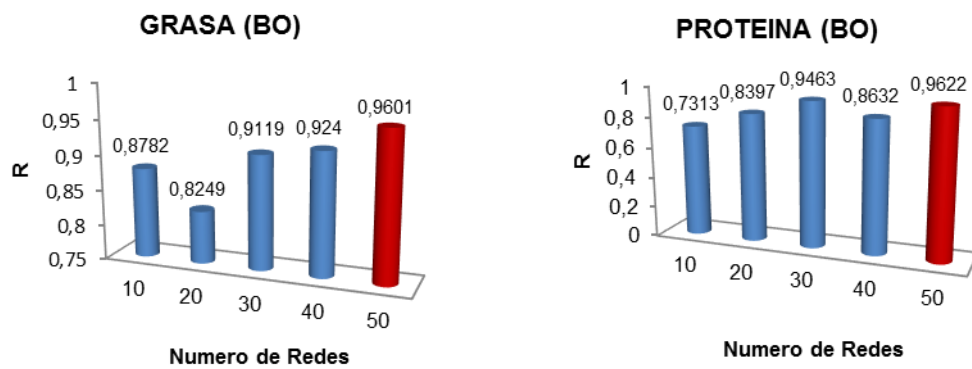


Figura 17. R² vs número de redes para grasa y proteína en BO

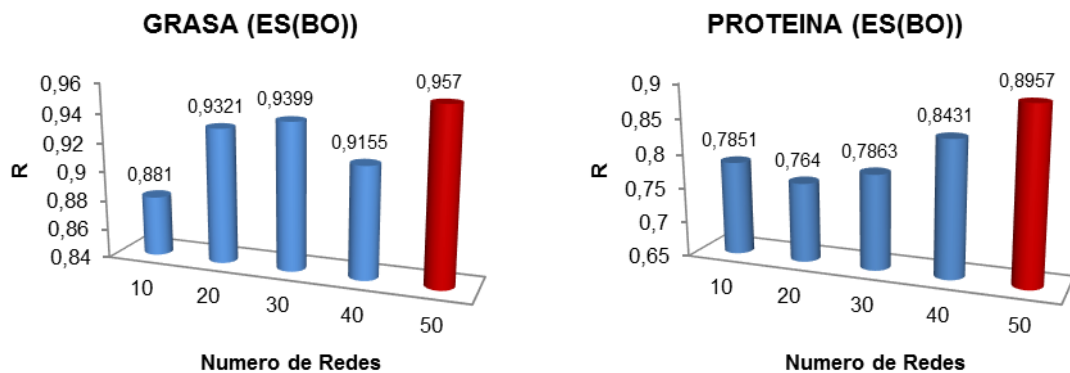


Figura 18. R² vs número de redes para grasa y proteína en ES(BO)

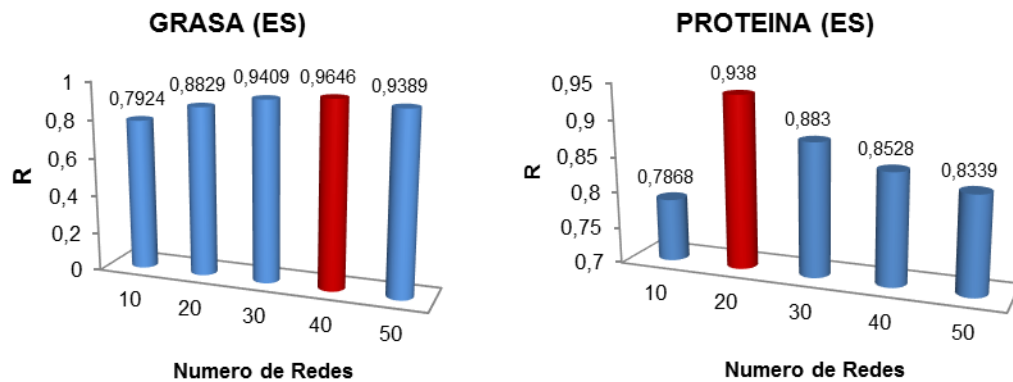


Figura 19. R² vs número de redes para grasa y proteína en ES

De las figuras anteriores se observa por ejemplo, que el coeficiente de determinación (R²) para la grasa de la leche en el BO, utilizando la RNA fue de 0,9601, como se muestra en la figura 17, es decir, que las propiedades bromatológicas del botón de oro explican el 96,01% de la variabilidad de la grasa de la leche en un sistema Silvopastoril, y que la fracción restante, el 3,99%, corresponde a factores desconocidos. Esta misma explicación se replica para los demás R² que se obtuvieron para las diferentes arquitecturas; 0,9622 para la proteína de la leche en el BO, 0,957 y 0,8957 para la grasa y la proteína de la leche respectivamente en un sistema de ES(BO); cabe resaltar que este último coeficiente de determinación fue el más bajo de las 6 arquitecturas seleccionadas; para el ES, los valores de R² fueron de 0,9646 y 0,938 para la grasa y proteína de la leche respectivamente.

El ajuste de la mejor arquitectura se evaluó nuevamente (con el conjunto de evaluación) con 100 repeticiones y se comparó con los valores estimados por la red (ver figura 20, 21 y 22). En todos los conjuntos de datos el coeficiente de determinación del modelo de redes neuronales (RNA) fue superior a 0,9

explicando, en promedio, mayor proporción la grasa y la proteína de la leche a través de las variables de entrada.

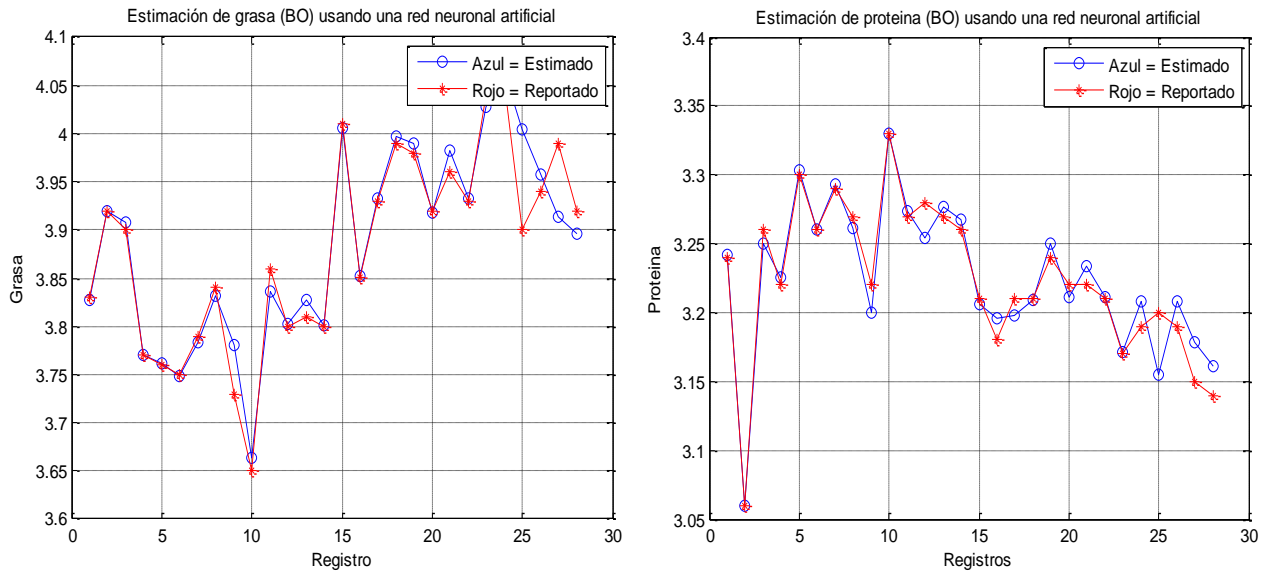


Figura 20. Estimación de grasa y proteína para BO usando la RNA

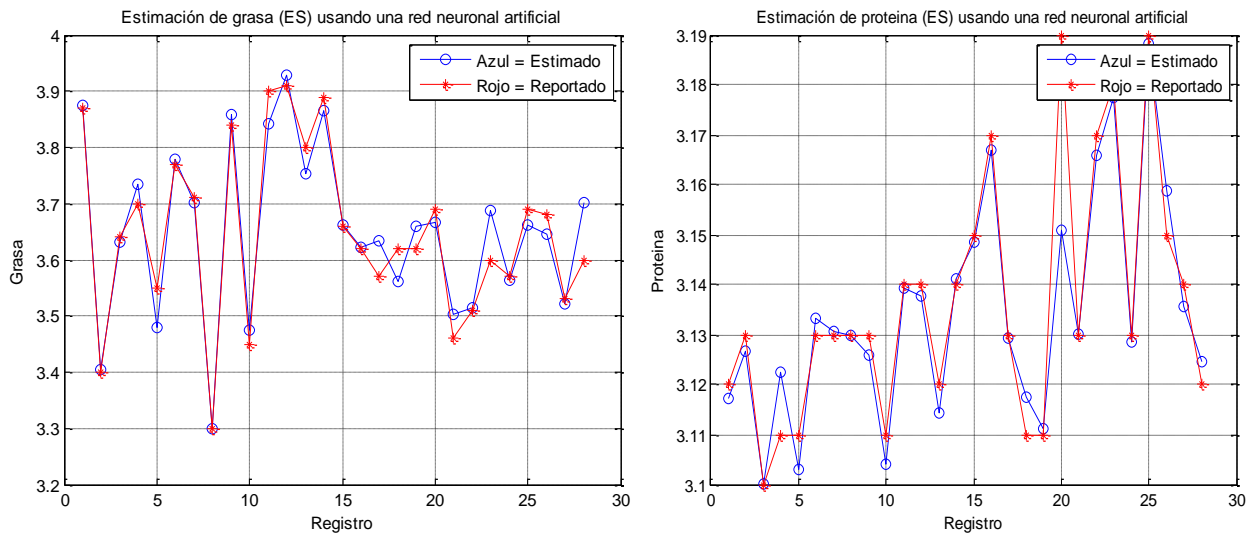


Figura 21. Estimación de grasa y proteína para ES(BO) usando la RNA

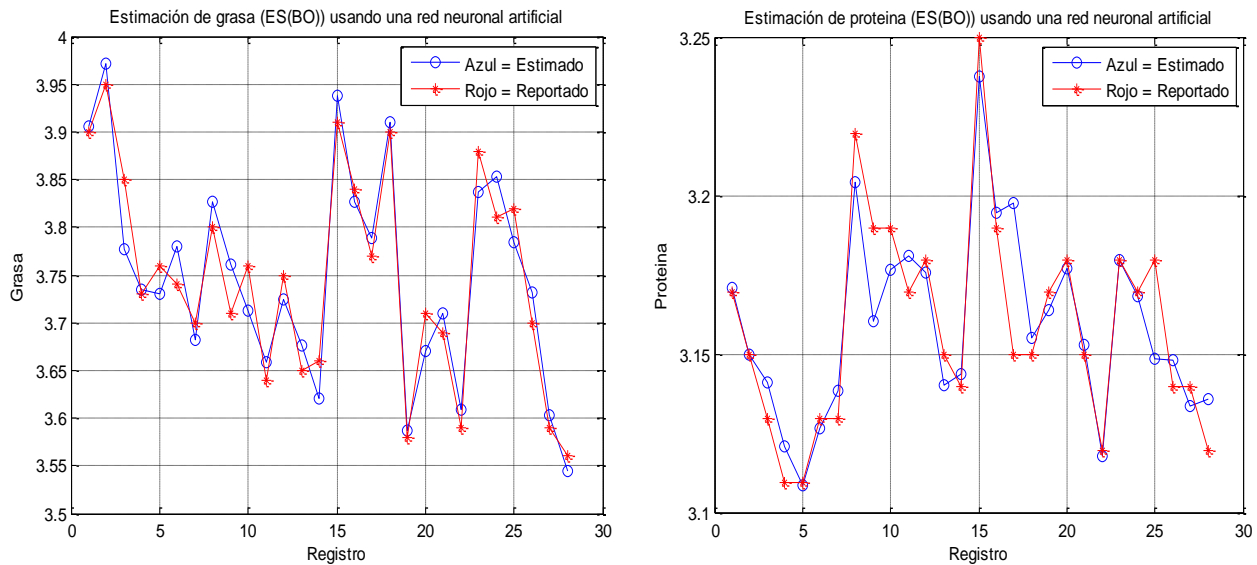


Figura 22. Estimación de grasa y proteína para ES usando la RNA

Sin lugar a dudas las redes neuronales tienen una capacidad enorme para modelar sistemas complejos como la producción de grasa y proteína en un sistema de producción convencional y un sistema Silvopastoril, el cual no presenta un comportamiento probabilístico normal y depende de una cantidad importante de variables de suelo, planta y animal.

Respecto a la complejidad del modelo RNA es importante mencionar que la red neuronal es desde el punto de vista matemático, una composición de funciones aplicadas a una serie de operaciones matriciales. Esa complejidad está dada por el número de capas ocultas, las funciones de activación y el número de variables de salida.

4. CONCLUSIONES

- Se determinó que con el sistema Silvopastoril se pueden obtener mejores valores de grasa y proteína de la leche, lo que significa una mejor calidad de la misma, comparada con un sistema de producción convencional; lo anterior se presenta como un factor determinante para establecer sistemas eficientes y rentables en el mundo actual, donde la calidad es un aspecto preponderante.
- En el país se ha establecido un sistema de pago por calidad de leche cruda al productor; con la implementación de sistemas silvopastoriles se mejoran los parámetros de grasa y proteína láctea, al tiempo que se disminuyen los impactos negativos sobre el medio ambiente, todo esto repercute en una mayor rentabilidad para el productor.
- Los factores de la planta que influyen sobre la calidad de la leche en cuanto a la grasa y la proteína son la materia seca, las cenizas, la proteína cruda, la fibra detergente neutra y la energía bruta..
- El uso de las redes neuronales artificiales permitió predecir valores de grasa y proteína para los dos sistemas estudiados, con un alto nivel de predicción; por ello las RNA son una buena herramienta para predecir y entender fenómenos tan complejos de la naturaleza.

5. RECOMENDACIONES

- A pesar de las observaciones del uso del botón de oro en la alimentación animal, especialmente por campesinos, se han realizado muy pocos trabajos investigativos a nivel mundial en este campo, esto deja abierto un gran panorama frente a la necesidad de conocer los posibles efectos de la inclusión del botón de oro sobre la actividad ruminal, la producción y la calidad de la leche.
- Socializar los resultados en la comunidad científica, académica y entre los productores a fin de lograr una mayor aplicación de los sistemas silvopastoriles los cuales arrojan beneficios económicos para el productor y ecológicos para el medio ambiente.
- Se recomienda desarrollar programas ejecutables para las RNA, con el fin de manejar una interfaz más amigable y que esta pueda ser usada por los diferentes productores de leche.
- Dadas las buenas estimaciones de la RNA, se recomienda en próximos usos, poder abrir la “caja negra” para realizar curvas de optimización e introducir variables cualitativas al modelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuerdo de competitividad de la cadena láctea colombiana. Colección documentos IICA. Serie Competitividad. (1999). Bogotá: IICA.
- Aguilar Pérez, C. F. (2004). Producción y calidad de leche y carne en sistemas silvopastoriles. In // *Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos*. Mérida.
- Allaire G, Sylvander B. Qualité spécifique et systems d'innovation territoriale. *Cahiers d'économie et de sociologie rurale* 1997;(44): pp. 27-59.
- Almanza, Fabritzio y Eduardo Barrera. Tecnología de leches y derivados. Bogotá, Editorial Unisur, 1991.
- Andrade, M. (2006). *Evaluación de técnicas de manejo para mejorar la utilización del pasto kikuyo (Pennisetum clandestinum Hochst. Ex Chiov) en la producción de ganado lechero en Costa Rica*. Universidad de Costa Rica.
- Araújo, M. Estimativa da produtividade agrícola da cana de açúcar utilizando agregados de redes neurais artificiais: estudo de caso usina catanduva. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. 2007. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).
- Arbib, M. (2003). *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Arias, R. 2009. *Experiencias sobre agroforestería para la producción animal en Guatemala*. En: *Agroforestería para la producción animal en América Latina*. (Eds. M.D. Sánchez y M. Rosales). FAO. Roma. p. 70
- Arroyo, M. (1998). *Modulación de la grasa de leche mediante la nutrición en vacunos lecheros*. SERAGRO.
- Association of Official Analytical Chemists, A. (2000a). Dairy products. In R. L. Bradley Jr. (Ed.), *Official Methods of Analysis of AOAC International* (17th ed., pp. 1–87). Gaithersburg.
- Association of Official Analytical Chemists, A. (2000b). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. (W. Horwitz, Ed.) (17th ed.). Gaithersburg.
- Bacab, H. M., Madera, N. B., Solorio, F. J., Vera, F., & Marrufo, D. F. (2013). Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical. *Avances En Investigación Agropecuaria*, 17(3), 67–81.
- Bachman, K.C. (1992). Managing milk composition. In: *Large dairy herd management*. Ed: Van Horn and Wilcox, ADSA, IL. pp. 336-346
- Bauman, D. E., & Griinari, J. M. (2001). Regulation and nutritional manipulation of milk fat : low-fat milk syndrome. *Livestock Production Science*, 70, 15–29.

- Beorlegui, C. de B. (2004). Cambios en el perfil de ácidos grasos en productos animales en relación con la alimentación animal y humana. Importancia del ácido linoleico conjugado. 1. Rumiantes.
- Bernal, J., & Espinosa, J. (2003). *Manual de nutrición y fertilización de pastos*. (I. P. N. Institute, Ed.) (p. 94).
- Bishop, Neural Networks for Pattern Recognition, Clarendon Press, Oxford, 1996.
- Bronstein, G. E. (1984). *Producción comparada de una pastura de Cynodon plectostachyus asociada con árboles de Cordia alliodora, asociada con árboles de Erythrina poeppigiana y sin árboles*. Turrialba, CR. UCR-CATIE.
- Burden, R.G. Brereton, P.T. Walsh, Analyst 122 (1997) pp. 1015.
- Burton, G. W. (1993). African Grasses.
- Calderón, A. (2002). *Cuantificación de factores de riesgo de mastitis en sistemas elite de producción de leche en el altiplano Cundiboyacense*. Universidad Nacional de Colombia.
- Calderón, A., García, F., & Martínez, G. (2006). Indicadores de calidad de leches crudas en diferentes regiones de Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 11(1), 725–737.
- Castro, R. E., Mojica, R. J. E., León, J. M., Pabón, M. L., Carulla, F. J. E., & Cárdenas, R. (2008). Productividad de pasturas y producción de leche bovina bajo pastoreo de gramínea y gramínea+ Lotus uliginosus en Mosquera, Cundinamarca. *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 55, 9–21.
- Chamorro, D. (2004). El componente arbóreo como dinamizador del sistema de producción de leche en el trópico alto Colombiano. In *VI Taller Internacional Silvopastoril CIPAV* (p. 14 p.). Manizales: Universidad de Caldas.
- Chen, H. (1995). Machine learning for information retrieval: neural networks, symbolic learning, and genetic algorithms. *Journal of the American Society for Information Science*. Vol. 46, n° 3, pp. 194-216.
- Contribución de los sistemas silvopastoriles en la producción y el medio ambiente. (2013), 17(3), pp.7–24.
- Cook, B. G., Pengelly, B. C., Brown, S. D., Donnelly, J. L., Eagles, D. A., Franco, M. A., ... Schultze, R. (2005). *Tropical Forages: an interactive selection tool*. Brisbane: CIAT and ILRI.
- Cowan, R. T., Moss, R. J., & Kerr, D. V. (1993). Summer feeding systems. *Tropical Grasslands*, 27, 150 – 161.
- Dalgleish, D. G. 1997. "Structure-Function Relationships of Caseins". Capítulo 7 en Damodaran, S. y A. Paraf (Editores): *FOOD PROTEINS AND THEIR APPLICATIONS*. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, EUA.
- Dart, P. J. (1994). Microbial symbioses of tree and shrub legumes.

- Depeters, E. y Cant, J. (1992). Nutritional factors influencing the nitrogen composition of bovine milk: a review. *Journal of Dairy Science*. 75 (8): pp. 2043 – 2070.
- Donaghy, D., & Fulkerson, B. (2001). Principles for developing an effective grazing management system for ryegrass based pastures. Burnie: Tasmanian Institute of Agricultural Research.
- Dreyfus, Neural Networks – Methodology and Applications, Springer, Heidelberg, 2005.
- Dutta, P. (1993). Insect feeding deterrents from *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray. *J. of Environmental Biology*. 14 (1): pp. 27.
- Echeverri Zuluaga, J. J., López Herrera, A., & López Rojas, L. E. (2013). Asociación de tres SNPS con algunas características productivas y de calidad de la leche en hatos holstein en Antioquia, Colombia. *Revista EIA*, 10(20), 63–72. doi:<http://dx.doi.org/10.14508/reia.2013.10.20.63-72>
- Erazo Mesa, O. E. (2011). *Efecto de los factores limitantes de la productividad del cultivo de caña de azúcar a nivel intrasuerte*. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.
- Esqueda-Esquivefi, V. A., & Tosquy-Valle, O. H. (2007). Efectividad de métodos de control de malezas en la producción de forraje del pasto pangola (*Digitaria decumbens* Stent). *Agronomía Mesoamericana*, 18(1), 1–10.
- FAO (Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación). (2001). Consulta de expertos: protección de los recursos naturales en sistemas ganaderos: Los sistemas agroforestales pecuarios en América latina. Roma, IT. pp.38.
- Fernández, C., Soria, E., Martín, J.D., Serrano, A.J., (2006). Neural networks for animal science applications: two case studies. *Expert Syst. Appl.* 3 (1), pp. 444–450.
- Fernández, R. J., U. de Chávez, M. I., Virgüez, D. R., & García de Hernández, M. (1991). Efecto de la frecuencia de corte sobre el rendimiento y valor nutritivo del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en la unidad agroecológica 3e 144 del Valle de Aroa. *Zootecnia Tropical*, 9(2), 165–179. Retrieved from file:///I:/Noviembre 9/efecto_de_la_frecuencia_de_corte_sobre_el_rendimiento_y_valor_nutritivo_del_pasto_estrella_(cynodon_nl.html)
- Finca S.A., Retrieved October 20, 2014, from <http://www.finca.com/>
- Forbes, J. M. (2007). *Voluntary Food Intake and Diet Selection in Farm Animals* (pp. 59–80). Wallingford: CABI Publishing.
- Franco, M.H. (2008). Sistemas silvopastoriles o agroforestería pecuaria en trópico de altura. Conferencia. I Congreso Nacional de Ganadería Agroecológica para el Trópico Colombiano. Bogotá, Colombia.
- Fuentes Álvarez, M. C. (2009). *Modificación del perfil de ácidos grasos de la leche a través de la manipulación nutricional en vacas lecheras: el papel del rumen*. Universitat Autònoma de Barcelona.

- Galindo, J., González, N., Sosa, A., Ruiz, T., Torres, V., Aldana, A. I. Noda, A. C. (2011). Efecto de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (Botón de oro) en la población de protozoos y metanógenos ruminales en condiciones in vitro. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(1), 37–37.
- Gallego-Castro, L. A., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2014). Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en la producción de vacas lecheras. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2), 393–403.
- García, D. E., Medina, M. G., Cova, L. J., Torres, A., Soca, M., & Pizzani, P. (2008). Preferencia de vacunos por el follaje de doce especies con potencial para sistemas agrosilvopastoriles en el Estado Trujillo, Venezuela. *Pastos Y Forrajes*, 31(3), 255–271.
- García Salazar, C. N. (1999). *Exploración del uso potencial de las redes neuronales para la clasificación de la leche según rango celular*. Universidad Austral de Chile.
- Goddard, M. y Wiggans, G. (1996). Genetic Improvement of Dairy Cattle. In: Fries, R. y Ruvinsky, A. (Ed.). *The Genetics of Cattle*. CABI Publishing. pp. 511 – 534.
- Gómez, M. E., Rodríguez, L., Murgueitio, E., Ríos, C. I., Méndez, M. R., Molina, C. H., Molina, J. P. (2002). *Árboles y arbustos forrajeros utilizados en alimentación animal como fuente proteica*. (C. para la investigación en sistemas sostenibles de producción Agropecuaria, Ed.) (p. 147).
- González, I., Vega, J., & Castillo, R. (2002). Estudio de la calidad físico-químico de la leche entera de vaca en un sistema silvopastoril. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1(1), 25–27. Retrieved from <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=93911238004>
- Gresti, J., Bugaut, M., Maniongui, C., & Bezard, J. (1993). Composition of molecular species of Triacylglycerols in Bovine Milk Fat.pdf. *Journal of Dairy Science*, 76(7), 1850–1869.
- Guada, J. A. (1996). Características del sistema de Cornell (CNCPS) como modelo de valoración proteica y energética para rumiantes. In *XII Curso de especialización FEDNA* (p. 19). Madrid.
- Gualberto, R., Souza Júnior, O. F., Costa, N. R., Braccialli, C. D., & Aparecido Gaion, L. (2011). Influência do espaçamento e do estágio de desenvolvimento da planta na produção de biomassa e valor nutricional de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray. *Nucleus*, 8(1), 241–256.
- Gualdron Calderón, E., & Padilla Charry, C. E. (2007). *Producción y calidad de leche en vacas holstein en dos arreglos silvopastoriles de Acacia decurrens y Alnus acuminata asociadas con pasto kikuyo, (Pennisetum clandestinum)*. Universidad de la Salle.
- Hargreaves, J. N. G., & Kerr, J. D. (1978). Botanical: a comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. II. Computational package. *Technical Memorandum*, (9), 88.
- Hartmann, H. & Kester, D. (1995). Propagación de plantas, principios y prácticas. Editorial Continental. Ciudad de México, México. pp. 760.
- Haschemeyer, R. H., & Haschemeyer, A. E. V. (1973). Dynamics of protein conformations. In *PROTEINS. A Guide to Study by Physical and Chemical Methods*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

- Hassan, K. J., Samarasinghe, S., & Lopez-Benavides, M. G. (2009). Use of neural networks to detect minor and major pathogens that cause bovine mastitis. *Journal of Dairy Science*, 92, 1493–1499. doi:10.3168/jds.2008-1539
- Hernández, D., Carballo, M., & Reyes, F. (1998). Sistema Silvopastoril multiasociado una alternativa para la producción de leche y carne en Cuba.
- Hernández, D.; Carballo, Mirta & 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: pp. 269.
- Herrera-Campos, L. R., Vargas-Rodríguez, C. F., Boschini-Figueroa, C., & Chacón-Villalobos, A. (2009). Variación bromatológica de la leche de cabras Lamancha alimentadas con diferentes forrajes. *Agronomía Mesoamericana*, 20(2), 381–390.
- Hettiarachchy, N. S. (Ed.). (2012). *Food proteins and peptides* (p. 458). CRC Press.
- Hilera González, J.; Martínez Hernando, V. (1995). *Redes neuronales artificiales: fundamentos, modelos y aplicaciones*. Madrid: RA-MA.
- Holguín, V; Ibrahim, M. (2003). Bancos Forrajeros. Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas. CATIE, Turrialba, CR. pp. 26.
- Hu, Y., Hwang, H., Hwang, J.N., (2003). *Handbook of Neural Network Signal Processing*. Academic Press, London.
- Iglesias, J.M. (2003). Los sistemas silvopastoriles, una alternativa para la crianza de bovinos jóvenes en condiciones de bajos insumos. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Veterinarias. ICA. La Habana, Cuba. pp. 110.
- Investigación, V. de, Maya Mazorra, G. E., Durán Castro, C. V., & Ararat, J. E. (2005, November 22). Valor nutritivo del pasto estrella solo y en asociación con leucaena a diferentes edades de corte durante el año. *Revista Acta Agronómica, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira*. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/5062/1/carlosvicentedurancastro.2005.pdf>
- Jensen, R. G., Ferris, A. M., & Lammi-keefe, C. J. (1991). The composition of milk fat. *Journal of Dairy Science*, (74), 3228 – 3243. doi:10.3168/jds.S0022-0302(91)78509-3
- Kennelly, J. J. (1996). The fatty acid composition of milk fat as influenced by feeding oilseeds. *Animal Feed Science Technology*, 60, 137–152.
- Kominakis, A. P., Abas, Z., Maltaris, I., & Rogdakis, E. (2002). A preliminary study of the application of artificial neural networks to prediction of milk yield in dairy sheep. *Computers and Electronics in Agriculture*, 35, 35–48.
- Lamela, L., López, O., Sánchez, T., Díaz, M., & Valdés, R. (2009). Efecto del sistema silvopastoril en el comportamiento productivo de vacas Holstein. *Pastos Y Forrajes*, 32(2), 175–184.
- Laredo, M. A. (1985). *Tabla de Contenido Nutricional en Pastos y Forrajes de Colombia*. Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario ICA.

- Latrille, L. (1999). Calidad de la leche y sistemas de pago. In: Anrique, R. (Ed.) Competitividad de la producción lechera nacional. Tomo II. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. Valdivia, Chile. pp. 259 – 316.
- Linn, J.G. (1988). Factors affecting the composition of milk from dairy cows. In: Designing foods. Ed: National Academic Press, Washington DC. pp. 224-241.
- Londoño Gutiérrez, M. A. (2008). *Efecto de los microorganismos eficientes sobre la calidad del ensilaje de maíz y su utilización en lechería tropical*. Universidad de la Salle.
- López, L., & Simón, O. (2009). Comportamiento lechero de genotipos Holstein x Cebú en silvopastoreo Dairy performance of Holstein x Zebu genotypes under silvopastoral system conditions. *Pastos Y Forrajes*, 32(3), 1–11.
- Luiz Villalobos, J. A. (2013). Evaluación agronómica y nutricional del pasto Estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en la zona de monteverde, puntarenas, Costa Rica. I. Disponibilidad de biomasa y fenología. *Agronomía Costarricense*, 37(1), 91–101. Retrieved from www.mag.go.cr/rev_agr/index.html
- Macleod, K.; Robertson, W. (1991). A neural algorithm for document clustering. *Information Processing & Management*. Vol. 27, n° 4, pp. 337-346.
- Mahecha, L. (2003). Importancia de los sistemas silvopastoriles y principales limitantes para su implementación en la ganadería colombiana. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 16(1), 11–18.
- Mahecha, L., Arroyave, J. F., & Monsalve, M. A. (1998). Evaluación de la ceba de novillos Cebú en sistemas silvopastoriles de *Eucalyptus tereticornis* y *Panicum maximum*, en la Reforestadora San Sebastián: I. Época Seca. In *Memorias VI Encuentro Nacional de Investigadores de las Ciencias Pecuarias*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Mahecha, L., Escobar, J. P., Suárez, J. F., & Restrepo, L. F. (2007). *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray (botón de oro) como suplemento forrajero de vacas F1 (Holstein por Cebú). *Livestock Research for Rural Development*, 19(2). Retrieved from <http://www.lrrd.org/lrrd19/2/mahe19016.htm>
- Mahecha, L., Rosales, M., Molina, H., & Molina, J. (2005). Experiencias en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala*-*Cynodon plectostachyus*-*Prosopis juliflora* en el Valle del Cauca, Colombia. *Agroforestería Para La Producción Animal En Latinoamérica*, 325–336.
- Marini, F. (2009). Artificial neural networks in foodstuff analyses: Trends and perspectives A review. *Analytica Chimica Acta*, 635(2), 121–131. doi:10.1016/j.aca.2009.01.009
- Marini, R. Bucci, A.L. Magri, A.D. Magri, Chemom. *Intell. Lab. Syst.* 84 (2006) pp.164.
- Maya M., G. E., Durán C., C. V., & Ararat, J. E. (2005). Valor nutritivo del pasto estrella solo y en asociación con leucaena a diferentes edades de corte durante el año. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/5062/>
- McCutcheon, J. (2011). Using pasture measurement to improve your management. The Ohio State University.

- McDonald, P., Edwaeds, R., Greenhalgh, J. y Morgan, C. (1999). *Nutrición Animal*. Quinta edición. Zaragoza, España. Acribia. pp. 576.
- Medina, M. G., García, D. E., González, M. E., Cova, L. J., & Moratinos, P. (2009). Variables morfoestructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Tropical*, 27(2), 121–134.
- Medrano Leal, J., Becerra Martínez, J., Báez, D. F., Obando, G. L., Rodríguez, U. P., Apraez, G. E., Jiménez, A. N. (1999). Evaluación del valor nutritivo y uso en dietas para rumiantes del follaje de árboles utilizables en sistemas silvopastoriles en el trópico de altura.
- Mehrez, A.Z. & Ørskov, E.R. (1977). A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *J. Agric. Sci. (Cambridge)*. 88: pp. 645.
- Mendoza, C., Pabón, M., & Carulla, J. (2011). Variaciones diarias de la oferta forrajera, efecto sobre la producción y calidad de la leche. *Rev MVZ Córdoba*, 16(3), 2721–2732.
- Mesa, B. (1999). Sistema Silvopastoril. *Revista Asociación Cubana Producción Animal*, 1, pp. 23–24.
- Minson, D. J. (1990). *Forage in ruminant nutrition* (p. 483 p.). San Diego: Academic Press.
- Mislevy, P. (2002). Stargrass. Institute of Food and Agricultural Sciences.
- Montagnini, F; (1992). *Sistemas Agroforestales: Principios y aplicaciones*, 2da ed. San José, CR. pp. 15-100.
- Moráis, M. y Espinosa, J. (1999). Efecto la Sombra en el pre-ordeño sobre la producción láctea de vacas Holstein, AGALTER 99. 1999. Universidad de Cienfuegos. pp. 7 –10.
- Múnera Duque, J. F. (1999). Establecimiento y evaluación de *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia*, como bancos de proteína en la región de Santafé de Antioquia (bs-T).
- Mungarulire, J. (1993). Some developments in the search for cytotoxic constituents from Rwandese medicinal plants. *Acta Horticulturae*. 333: pp. 211.
- Murgueitio, E., P. Cuellar, M. Ibrahim, J. Gobbi, C. Cuartas, J. F. Naranjo, A. Zapata, C. Mejía, A. Zuluaga, F. Casasola. (2006). Adopción de Sistemas Agroforestales Pecuarios. Pastos y Forrajes, *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 4(9): pp. 365-383.
- Naranjo, J. F., & Cuartas, C. A. (2011). Caracterización nutricional y de la cinética de degradación ruminal de algunos de los recursos forrajeros con potencial para la suplementación de rumiantes en el trópico alto de Colombia. *Revista CES Medicina Veterinaria Y Zootecnia*, 6(1), 9–19. Retrieved from <http://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/1489/993>
- Nash, (1976). Flora de Guatemala, en: Fieldiana: Botany 24: pp. 323-324
- Navarro, F., & Rodriguez, E. F. (1990). *Estudio de algunos aspectos bromatológicos del mirasol (tithonia diversifolia; Hemsl y Gray) como posible alternativa de alimentación animal*. Tesis Universidad del Tolima.

- Navas Panadero, A. (2003). *Influencia de la cobertura arbórea de sistemas silvopastoriles en la distribución de garrapatas en fincas ganaderas en el bosque seco tropical*. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza.
- Navas Panadero, A. (2007). Sistemas silvopastoriles para el diseño de fincas ganaderas sostenibles. *Revista ACOVEZ*, (16), 3–5.
- Pasha, N., Prigge, C., Russell, R. W., & Bryan, W. B. (1994). Influence of moisture content of forage diets on intake and digestion by sheep. *Journal of Animal Science*, 72, 2455–2463.
- Pedraza, R.M. (1994). Rendimiento, composición química y digestibilidad del follaje de postes vivos de *Gliricidia sepium* a diferentes edades de rebrote. *Pastos y Forrajes*. 17 (2): pp.175.
- Pedro, E. A. S. de. (2013). *Nivel de competitividad y eficiencia de la producción ganadera*. Universidad de Córdoba.
- Pérez, A., Montejó, I., Iglesias, J. M., López, O., Martín, G. J., García, D. E., Hernández, A. (2009). *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Pastos Y Forrajes*, 32(1), 1–16.
- Pérez Sánchez, E. (2006). *Caracterización de sistemas silvopastoriles y su contribución socioeconómica a productores ganaderos de Copán, Honduras*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE.
- Pezo D., I. M. (1998). Sistemas silvopastoriles. Colección de Modelos de Enseñanza Agroforestal, (2).
- Pezo, D; Ibrahim, M. (1999). Sistemas Silvopastoriles, Modulo de Enseñanza Agroforestal. 2da edición. CATIE proyecto agroforestal CATIE/GTZ. Turrialba CR. 276 p.
- Pezo, D., Romero, F., & Ibrahim, M. (1992). Producción manejo y utilización de los pastos tropicales para la producción de leche y carne. *Avances En La Producción de Leche Y Carne En El Trópico Americano*, pp. 47–98.
- Picoli Araújo, M. C. (2007). *Estimativa da produtividade agrícola da cana-de-acucar utilizando agregados de redes neurais artificiais: estudo de caso Usina Catanduva*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Phillips, C. (2001). Principles of Cattle Production. CABI Publishing. Londres, Inglaterra. pp. 288.
- Ponce, R., & Hernández, P. (2002). Composición de la leche en las condiciones actuales del trópico en Cuba. *Revista de Salud Animal*, 24(2), 111–114.
- Poppi, D. P., & McLennan, S. R. (1995). Protein and energy utilization by ruminants at pasture. *Journal of Animal Science*, 73, 278–290.
- Pozo, P. P. Del, Herrera, R. S., García, M., Cruz, A. M., & Romero, A. (2001). Análisis del crecimiento y desarrollo del pasto estrella con y sin adición de fertilizante nitrogenado. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 35(1), 51–58. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193014947010>.

- Proexport Colombia. Ministerio de Comercio y Turismo. (2014). | Promoción de Turismo, Inversión y Exportaciones. Retrieved October 10, 2014, from <http://www.proexport.com.co/>
- Ramos, N., Herrera, R. S., & Curbelo, R. (1993). Efecto de la fertilización nitrogenada en especies y variedades del género *Cynodon* en un suelo ferralítico rojo típico. II. Composición química y eficiencia de utilización del nitrógeno. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 27, p. 239.
- Rasmussen, J., Pejtersen, A. M., & Goodstein, L. P. (1994). *Cognitive Systems Engineering*. New York: Wiley.
- Reynolds, S. G. (1995). *Pasture-Cattle-Coconut Systems*. Roma: FAO Corporate document repository. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/005/af298e/af298E00.htm#TOC>
- Ríos, C. (1993). Efecto de la densidad de siembra y altura de corte sobre la producción de biomasa del botón de oro (*Tithonia diversifolia*; Hemsl y Gray). Investigación, validación y capacitación en Sistemas Agropecuarios Sostenibles. Convenio CETEC - CIPAV - IMCA. Informe de avance Enero de 1992 - Junio de 1993. Cali, pp. 124.
- Ríos, C.I. (1998). *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, una planta con potencial para la producción sostenible en el trópico. Conferencia electrónica de la FAO-CIPAV sobre agroforestería para la producción animal en Latinoamérica.
- Rivera, J. E., Cuartas, C., Naranjo, J. F., & Barahona Rosales, R. (2003.). Comparación del comportamiento productivo y calidad de la leche en vacas bajo un sistema silvopastoril intensivo y un sistema de producción convencional en el valle del Río Cesar, 1–18.
- Robinson, P. (2000). Manipulating Milk Protein Production and Level in Lactating Dairy Cows. *Advance in Dairy Technology*.
- Rodríguez-Zamora, J., & Elizondo-Salazar, J. (2012). Consumo, calidad nutricional y digestibilidad aparente de morera (*Morus alba*) y pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en cabras. *Agronomía Costarricense*, 36(1), 13–23. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43623289003>
- Roig, J. T., & Mesa, A. (1974). Plantas medicinales, aromáticas o venenosas de Cuba.
- Rosales, M. (1996). In vitro assessment of the nutritive value of mixtures of leaves from tropical fodder trees. D. Phil. Department of Plant Sciences, Oxford University, Oxford, UK. pp. 214.
- Rosales, M. (1992). Nutritional value of Colombian fodder trees. Internal report. Fundación Centro para la Investigación.
- Rusch, G.M., Skarpe, C. (2009). Procesos ecológicos y asociados con el pastoreo y su aplicación en sistemas silvopastoriles. *Agroforestería en las Américas*, 47, 12.
- Russo, R. O. (1990). Evaluating *Alnus acuminata* as a component in agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 10, pp. 241–252.
- Salazar, A. (1992). Evaluación agronómica del Botón de oro (*Tithonia diversifolia*-familia compuesta) y el Pinocho (*Malvaviscus penduliflorus*-familia Malvaceae). Informe de becarios

de la Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. Cali, Colombia. pp. 27

- Sánchez, L. (2010). El sauco (*Sambucus nigra*) como alternativa silvopastoril en el manejo sostenible de praderas en el trópico alto colombiano. CORPOICA, Ed. Produmedios. Colombia. pp. 55.
- Sánchez, S. (2007). Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* Jacq. y en un sistema silvopastoril de *P. maximum* y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Tesis presentada en opción al título de Dr. en Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. pp. 124.
- Satizábal M., H. F., & Pérez-Urbe, A. (2007). Relevance metrics to reduce input dimensions in artificial neural networks. *ICANN*, 39–48.
- Shelton, H. M., & Stur, W. W. (Eds.). (1991). *Forages for plantation crops* (p. 162).
- Sierra, J., & Nygren, P. (2006). Transfer of N fixed by a legume tree to the associated grass in a tropical silvopastoral system. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(7), 1893–1903. doi:10.1016/j.soilbio.2005.12.012
- Smith, J., & Valenzuela, H. (2002). Stargrass. Manoa: University of Hawaii. College of Agriculture and Human Resources.
- Solarte, A. (1994). Experiencias de investigación participativa en Sistemas de Producción Animal en dos zonas del Valle del Cauca. In *Memorias III Seminario Internacional Desarrollo Sostenible de Sistemas Agrarios* (pp. 49–72). Cali.
- Somarribe, E. (1995). Guayaba en potreros: establecimiento de cercas vivas y recuperación de pasturas degradadas. *Agroforestería En Las Américas*, 2(6), 27 – 29.
- Steyermark, J. A. (1950). Flora of Guatemala. *Ecology*, 31(3), 368–372.
- Sutton, J. (1989). Altering milk composition by feeding. *Journal of Dairy Science*. 75 (10): pp. 2801 – 2814.
- Swaigood, H. E., & Brunner, J. R. (2009). CRC Critical reviews in food technology the caseins. *Food Science and Nutrition*, 3(4), 375 – 414.
- Torres, M., Hervás, C., & Amador, F. (2005). Approximating the sheep milk production curve through the use of artificial neural networks and genetic algorithms. *Computers & Operations Research*, 32, 2653–2670. doi:10.1016/j.cor.2004.06.025
- Urbano, D., Dávila, C., Cañas, H., Castro, F., & Moreno, P. (2006). Comparación del sistema silvopastoril y gramínea sobre la producción y calidad de leche en vacas criollo limonero. In *Simposio - Taller: Experiencias en Agroforestería ejecutadas o en proceso por el INIA* (pp. 58–67).
- Urbano, D., Dávila, C., Moreno, P., & Castro, F. (2002). Efectos del tipo de pastura y suplementación sobre la producción y calidad de leche en vacas doble propósito. *Revista Científica, XII*(Suplemento 2), 524–527.

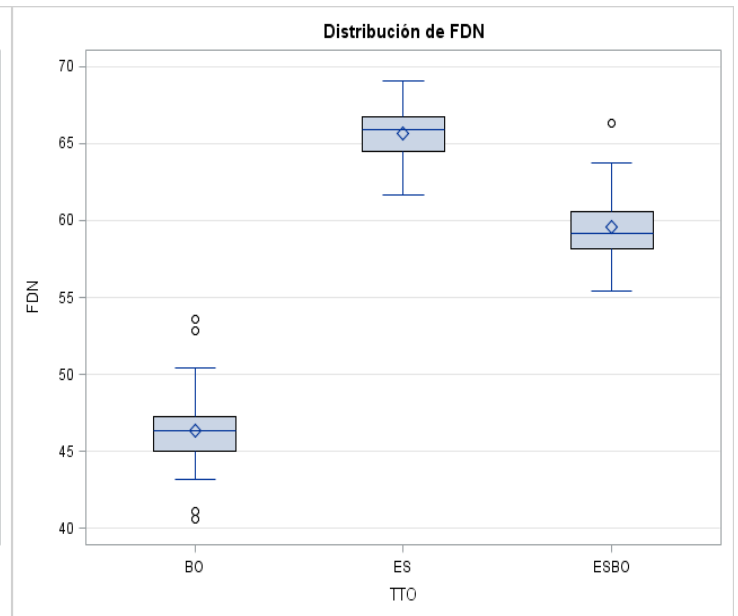
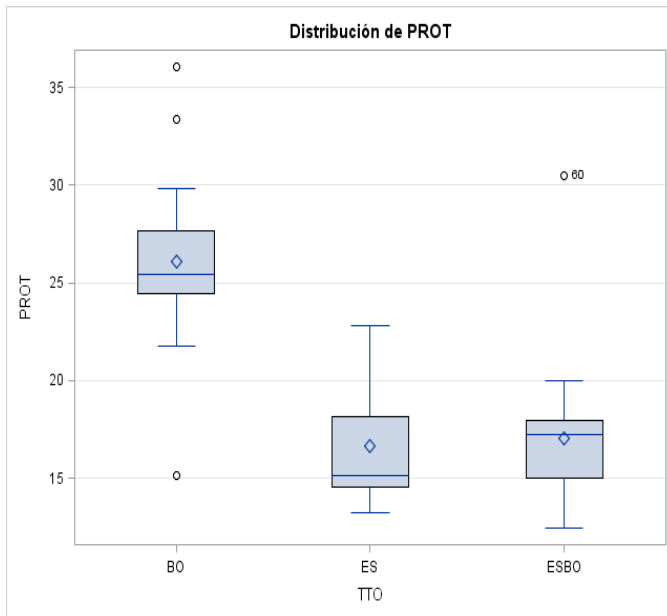
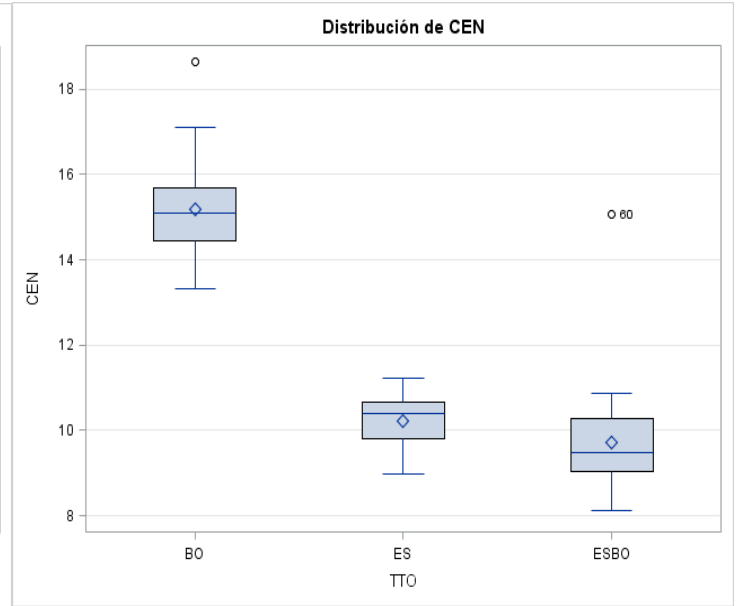
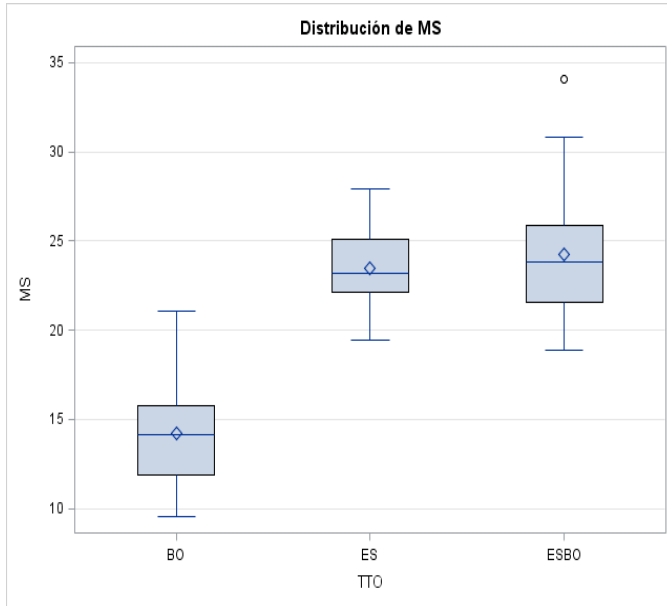
- Vandeginste, D.L. Massart, L.M.C. Buydens, S. De Jong, P.J. Lewi, J. Smeyers-Verbeke, Handbook of Chemometrics and Qualimetrics: Part B, Elsevier, Amsterdam, 1998, pp. 207.
- Vargas, J. E. (1994). Caracterización de recursos forrajeros disponibles en tres agroecosistemas del Valle del Cauca. In *Memorias III Seminario Internacional Desarrollo Sostenible de Sistemas Agrarios* (pp. 135–149). Cali.
- Velazquez, M. (2000). Udder health and milk composition, with special reference to beef cows. A literature review. Swedish University of Agricultural Sciences Skara. Faculty of Veterinary Medicine. Department of Animal Environment and Health. Skara, Suecia.
- Verdecia, D. M., Ramírez, J. L., Leonard, I., Álvarez, Y., Bazán, Y., Bodas, R., López, S. (2011). Calidad de la *Tithonia diversifolia* en una zona del Valle del Cauca - Nutritive value of the *Tithonia diversifolia* in a location of Valle del Cauca. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 12(5), 1–13. Retrieved from <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050511/0511113.pdf>
- Waite, R. B. (1994). The application of visual estimation procedures for monitoring pasture yield and composition in exclosures and small plots. *Tropical Grasslands*, 28, 38 – 42.
- Wanjau, S., Thijssen, R., Mukalama Nabaho, J. B., (1998). Transferencia de biomasa: Cosecha gratis de fertilizante. LEISA. 13 (3): pp. 25
- Weaver, R.J. (1987). Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. Editorial Trillas. 5a edición. Maracay, Venezuela. pp. 143.
- White, C. (2001). Factors affecting milk protein concentration in Australian dairy cows. The Australian Journal of Dairy Technology. 56 (2): pp.153.
- Wilson, J. R.; Ludlow, M. M. (1991). The environment and potential growth of herbage under plantations. In Shelton, H. M. y W. W. Stur (eds). Forages for plantation crops. Camberra, AU. ACIAR. Pp. 10-24. (Proceedings No. 32).
- Wojciska, U. (1994). The effect of nitrogen nutrition of Soybean on plant growth and CO₂ exchange parameters. *Acta Physiologiae Plantarum*, 14, 263.
- Zupan, J. Gasteiger, Anal. Chim. Acta 248 (1991).

ANEXOS

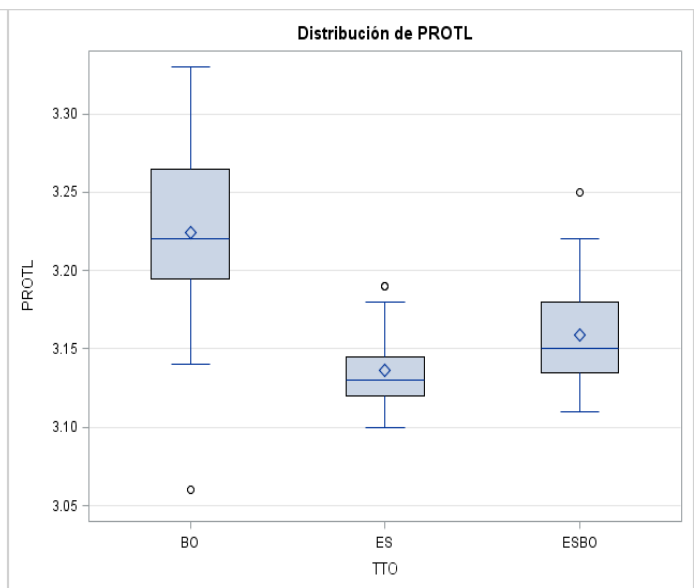
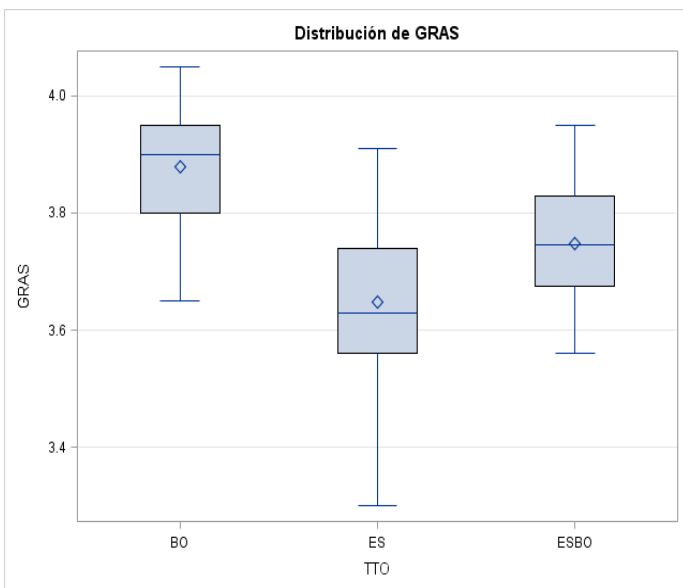
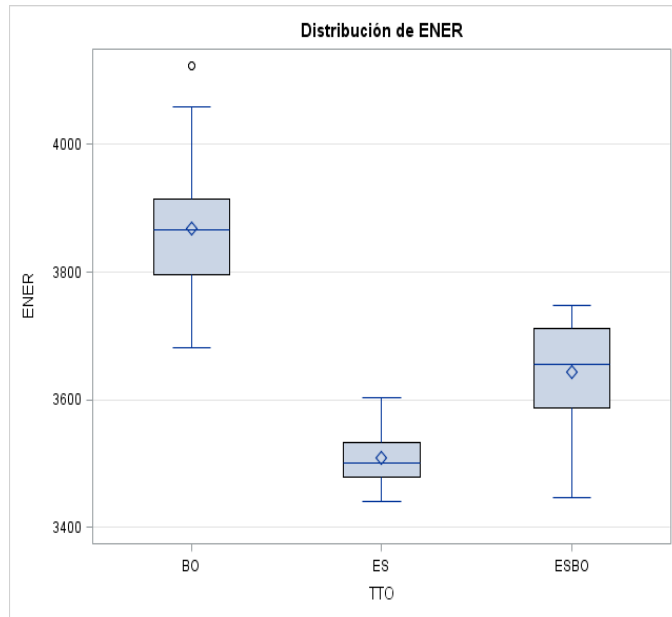
ANEXO 1. Análisis de suelos de la finca canada

Parámetro	Valor	Unidad	Método analítico
Textura			
Arena	77	%	Bouyoucos
Limo	21	%	Bouyoucos
Arcilla	2	%	Bouyoucos
Textura al tacto	Franco Arenoso		Tacto
Físico/químicos			
Conductividad eléctrica	0,16	dS/m	Electrométrico, extracto de saturación
Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE)	9,73	meq/100g	Saturación con acetato de amonio 1N y pH 7. Titulación con NaOH 0.1N
pH	5,53	-	Solución 1:2 suelo-agua. Potenciométrico.
Materia orgánica	3,98	%	Walkley Black
Nitrógeno (N)	0,20	%	Indirectamente a través de la materia orgánica.
Fosforo (P)	10	ppm	Bray II
Potasio (K)	0,26	meq/100g	Espectroscopia de absorción atómica. Solución extractora Acetato de amonio
Magnesio (Mg)	2,25	meq/100g	Espectroscopia de absorción atómica. Solución extractora Acetato de amonio
Calcio (Ca)	6,79	meq/100g	Espectroscopia de absorción atómica. Solución extractora Acetato de amonio
Sodio (Na)	0,25	meq/100g	Espectroscopia de absorción atómica. Solución extractora Acetato de amonio
Azufre (S)	16	ppm	Oxidación en la forma de SO_4^{2-} y determinación por el método turbidimétrico.
Hierro (Fe)	397	ppm	Espectroscopia de absorción atómica. Método de extracción del doble ácido
Boro (B)	0,05	ppm	Colorimétrico
Cobre (Cu)	8,23	ppm	Espectroscopia de absorción atómica. Método de extracción del doble ácido
Manganeso (Mn)	27	ppm	Espectroscopia de absorción atómica. Método de extracción del doble ácido.
Zinc (Zn)	7,56	ppm	Espectroscopia de absorción atómica. Método de extracción del doble ácido
Relaciones Catiónicas			
Ca/Mg	3	N/A	Indirectamente a través del contenido de calcio y magnesio
Ca/K	27,50	N/A	Indirectamente a través del contenido de calcio y potasio
Mg/K	9,52	N/A	Indirectamente a través del contenido de magnesio y potasio
(Ca+Mg)/K	37,03	N/A	Indirectamente a través del contenido de calcio, magnesio y potasio.
Saturación de Na	2,61	%	Indirectamente a través del contenido de sodio y la CICE
Saturación de K	2,66	%	Indirectamente a través del contenido de potasio y la CICE
Saturación de Ca	69,46	%	Indirectamente a través del contenido de calcio y la CICE
Saturación de Mg	23,40	%	Indirectamente a través del contenido de magnesio y la CICE

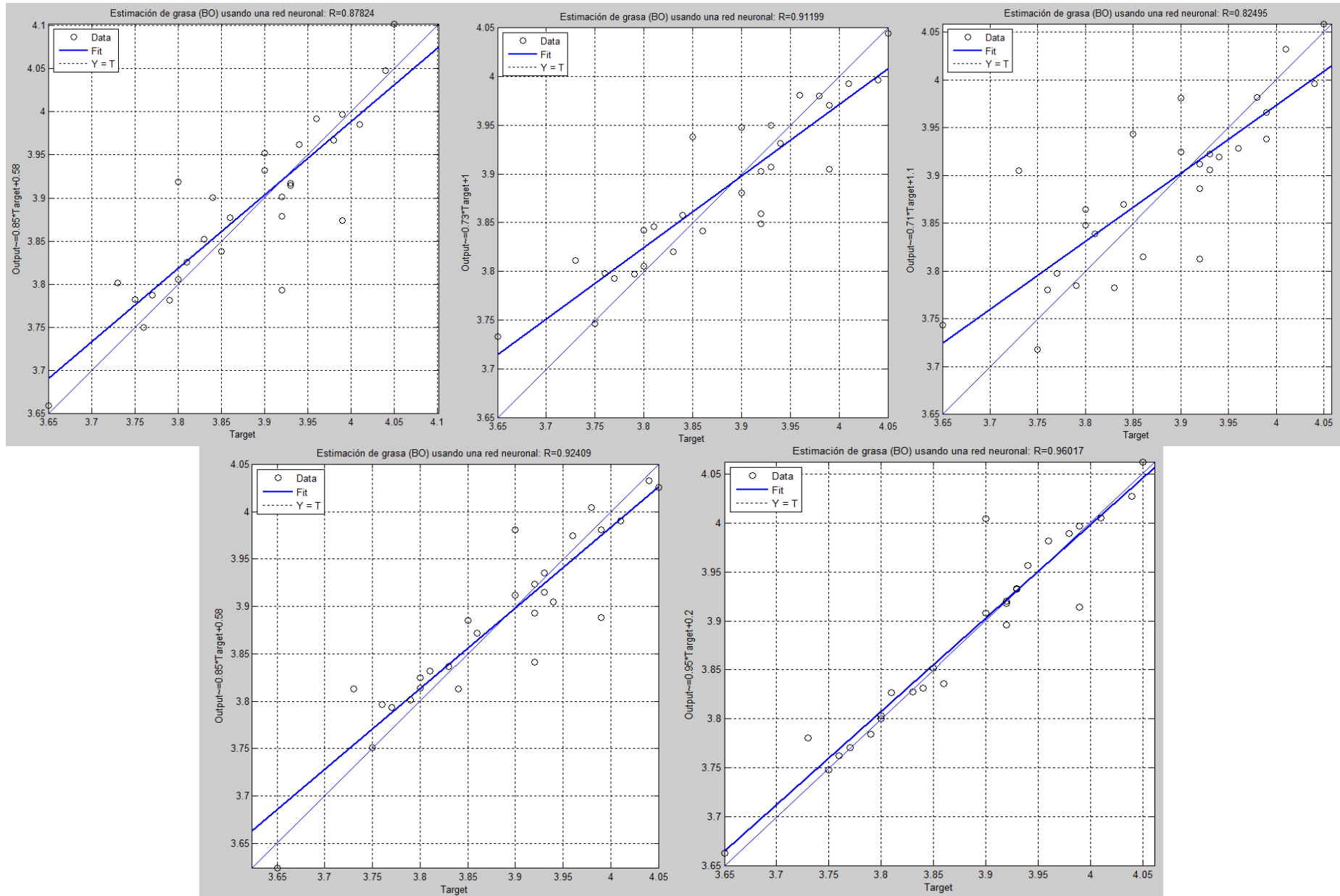
ANEXO 2. Comportamiento del promedio de las variables bromatológicas y de calidad de leche para los tres tratamientos estudiados BO, ES(BO) y (ES)



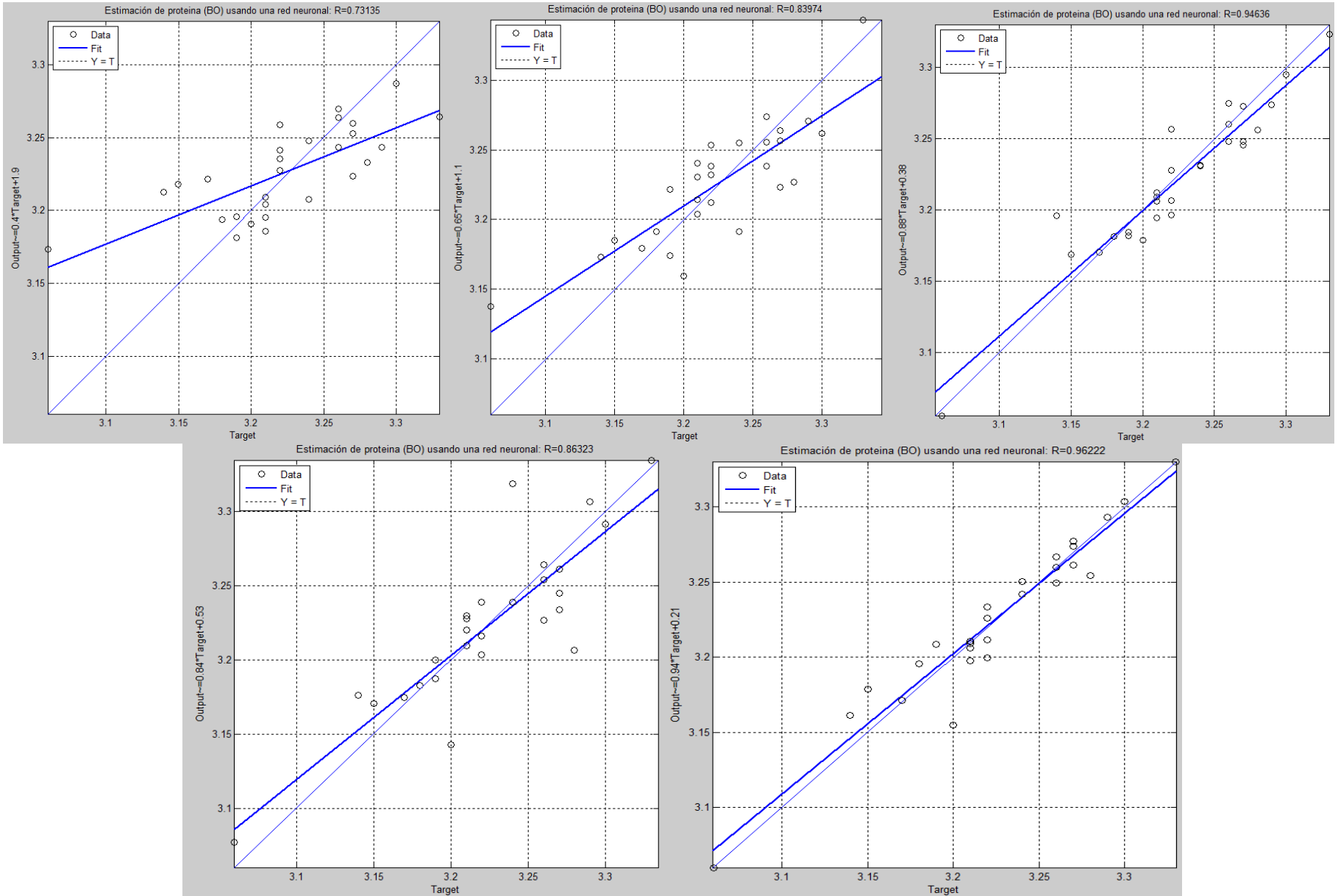
Continúa pag. 94



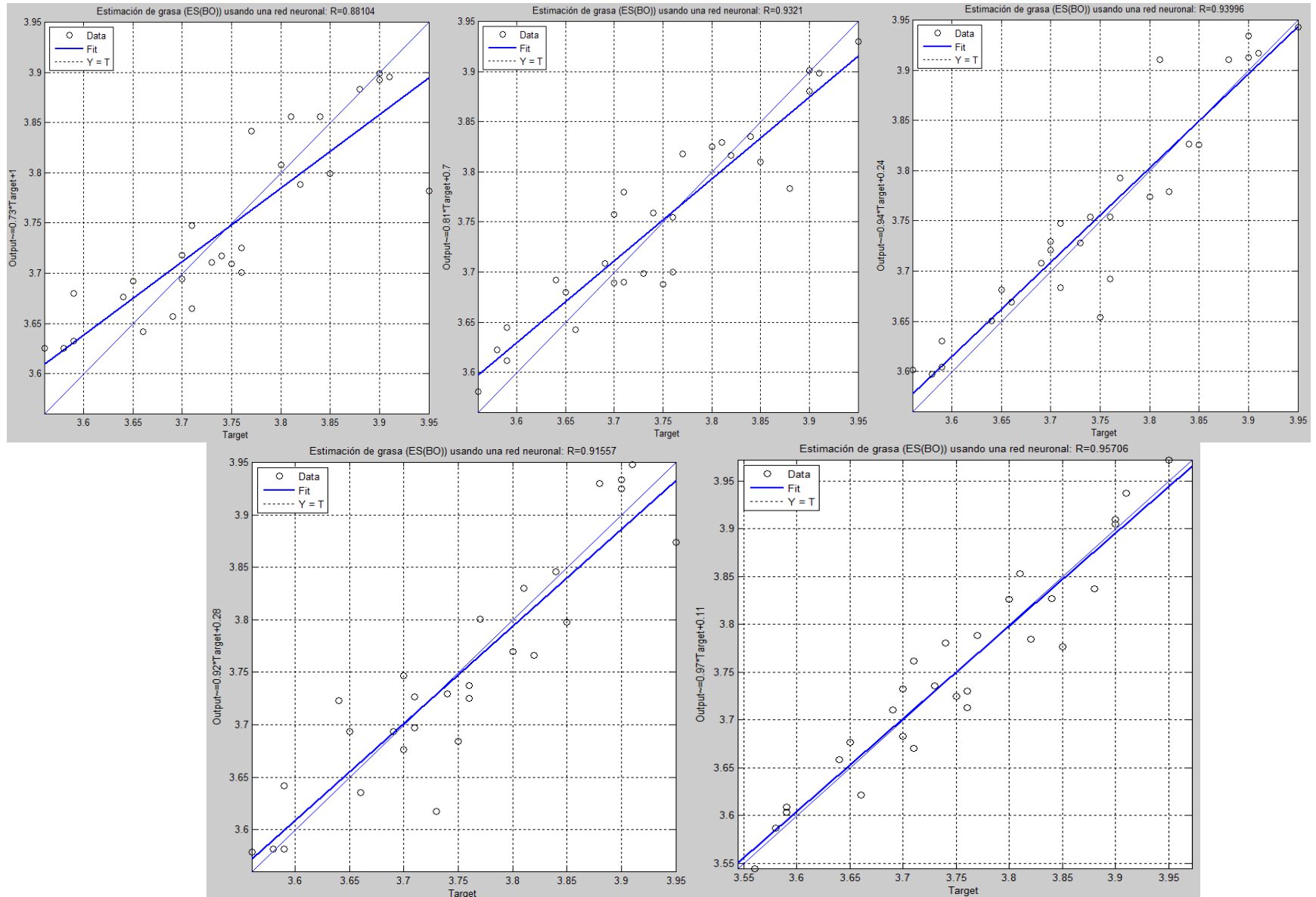
ANEXO 3. GRAFICAS DEL R² PARA CADA ARQUITECTURA DE LAS RNA –GRASA (BO)



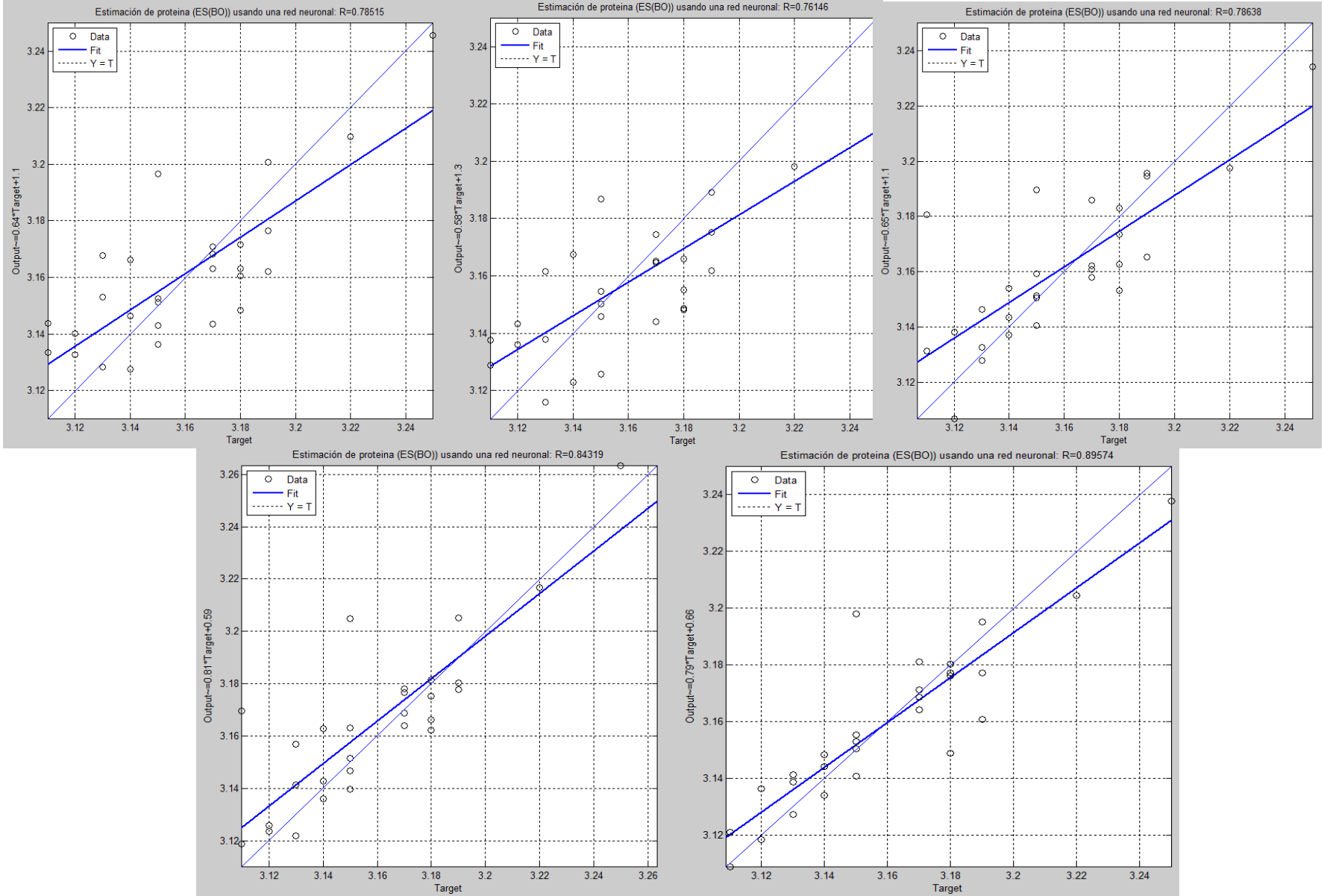
PROTEINA (BO)



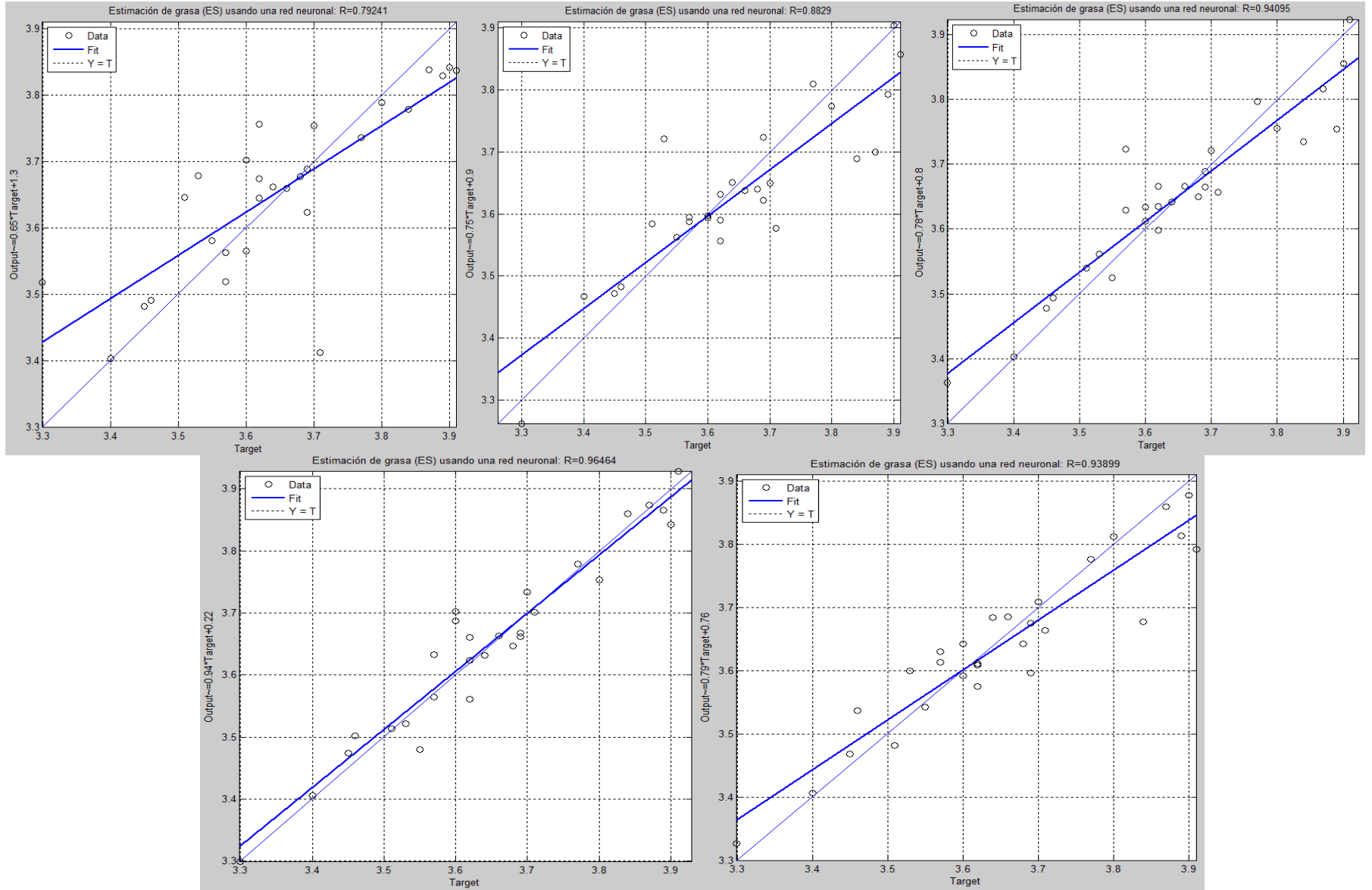
GRASA (ES(BO))



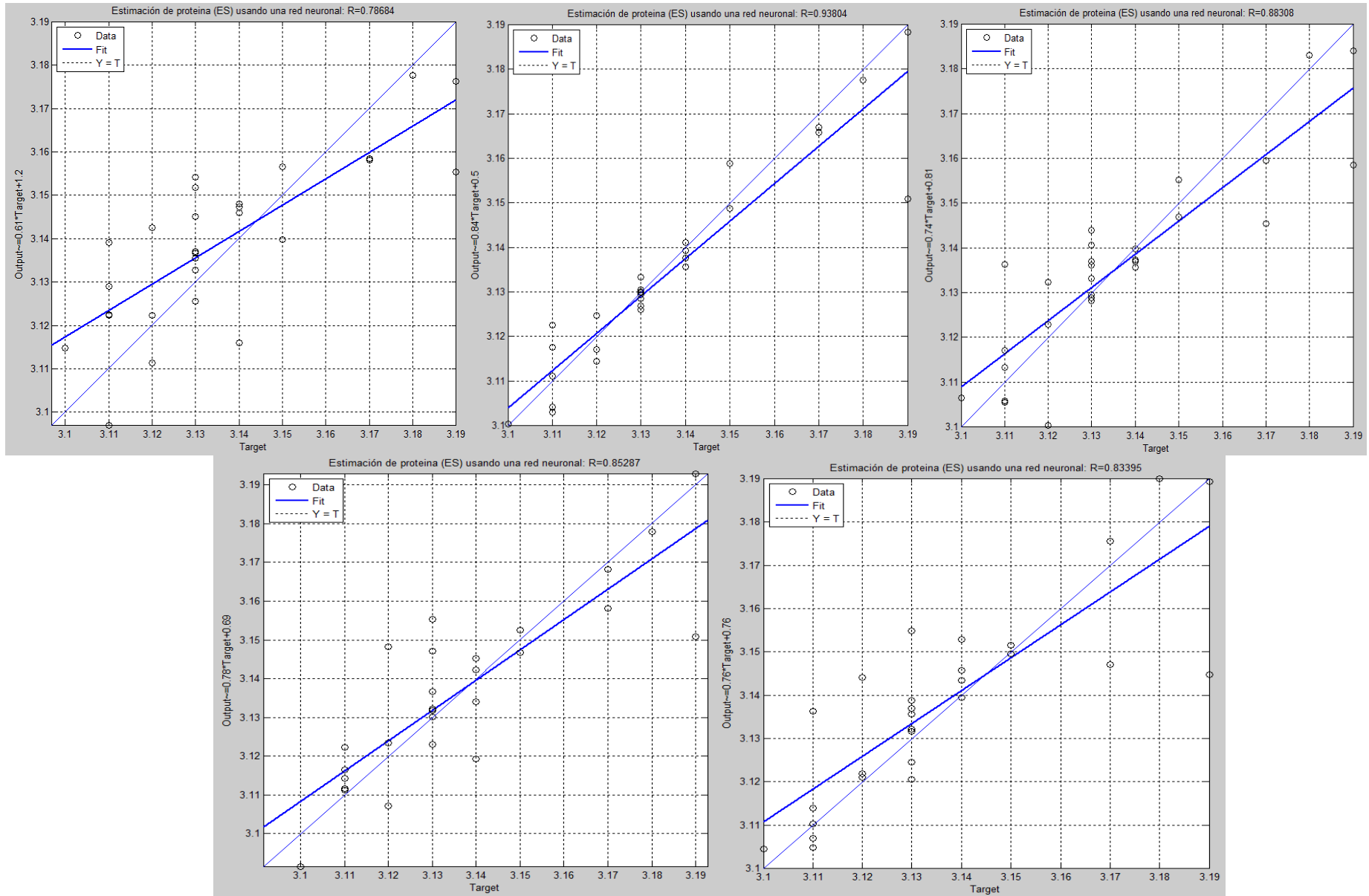
PROTEINA (ES(BO))



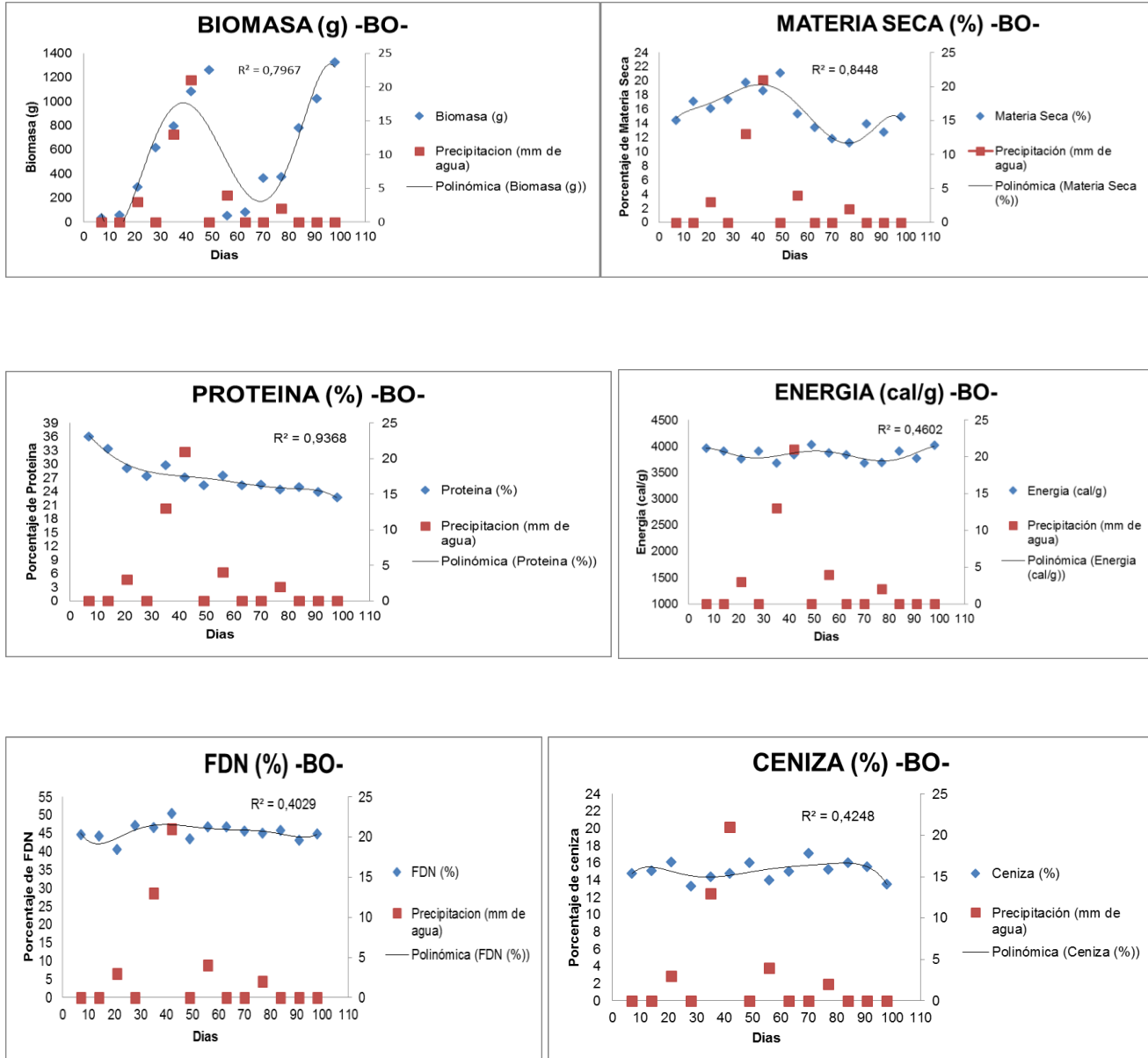
GRASA (ES)



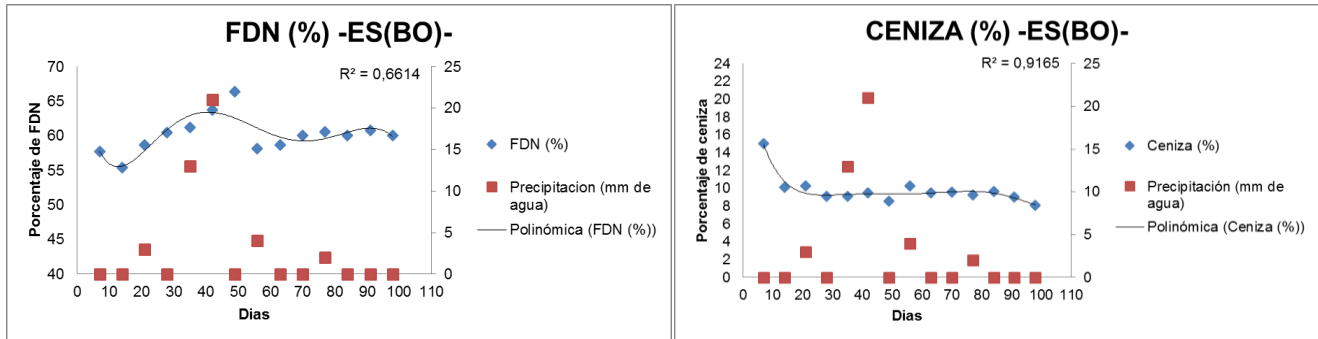
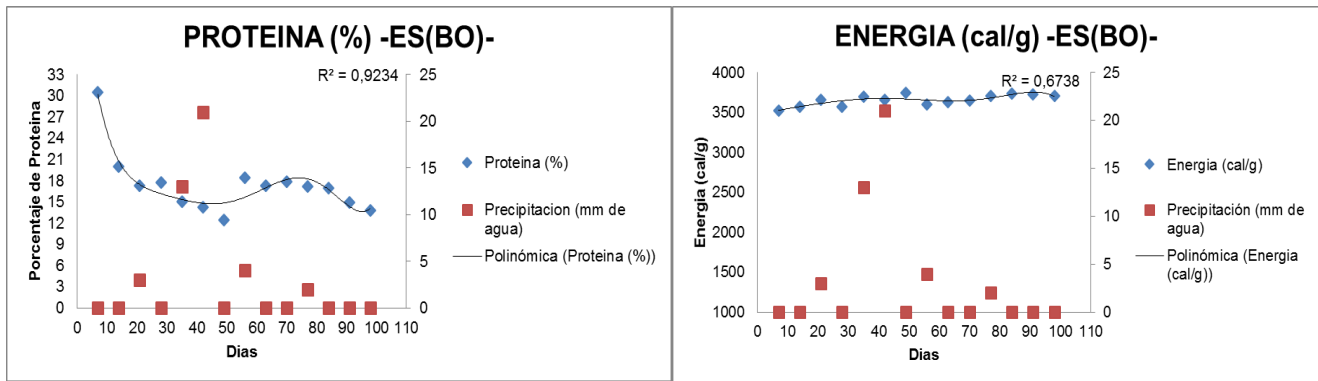
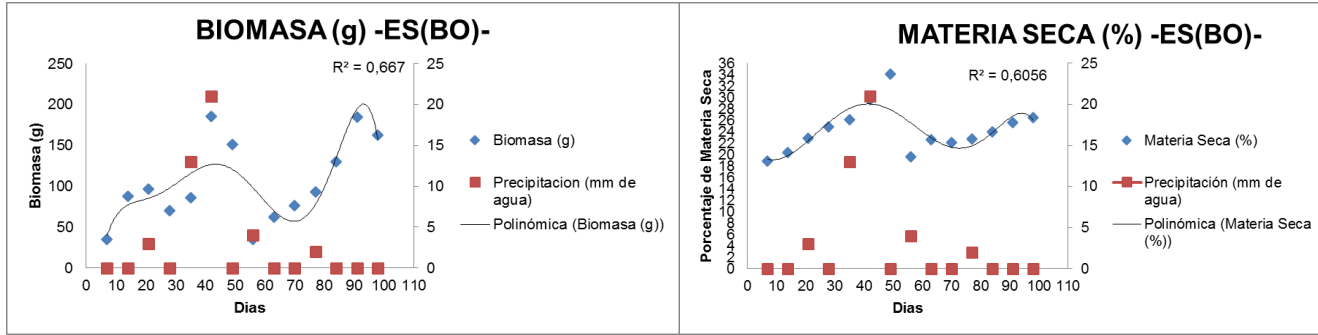
PROTEINA (ES)



ANEXO 4. CURVAS DE CRECIMIENTO Y PRODUCCION DE BIOMASA – BOTON DE ORO-



CURVAS DE CRECIAMIENTO Y PRODUCCION DE BIOMASA –ESTRELA EN ASOCIO CON BOTON DE ORO-



CURVAS DE CRECIAMIENTO Y PRODUCCION DE BIOMASA –PASTO ESTRELA-

