



Capítulo 4.

Sistemas silvopastoriles: estrategia para la articulación de la ganadería bovina a desafíos del siglo xxi

Liliana Mahecha-Ledesma

*Zoot., MSc, Dr. Agricultura y Medio Ambiente, Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación en Ciencias Agrarias (GRICA). Medellín, Colombia.
<http://orcid.org/0000-0003-3377-8399>*

Joaquín Angulo-Arizala

Zoot, MSc, Dr. Ciencias Animales, Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación en Ciencias Agrarias (GRICA), Medellín, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-3352-8795>

Jeraldyn Argüello-Rangel

MVZ, MSc Ciencias Animales, Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación en Ciencias Agrarias (GRICA), Medellín, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-4311-0501>

Resumen

La ganadería bovina tiene una gran importancia para el desarrollo económico y social del país. No obstante, con el tiempo esta actividad productiva ha perdido credibilidad

y se enfrenta a grandes retos en el futuro cercano que deberá vencer para continuar aportando al desarrollo de las comunidades y del país. Entre los desafíos planteados se encuentran: mejorar la competitividad, innovar respondiendo a las exigencias del mercado y ser amigable con el ambiente. Durante más de 20 años, los autores de este trabajo, investigadores del grupo GRICA de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, han logrado avances importantes de investigación en sistemas silvopastoriles (SSP) que contribuyen a afrontar estos retos y a mejorar el desarrollo de las comunidades. El objetivo de este trabajo es realizar un análisis de los avances investigativos en SSP para trópico alto y trópico bajo en el establecimiento, manejo, producción y consumo de forraje, producción y calidad de leche, producción y calidad de carne, impacto ambiental, análisis económico y bienestar animal. Como metodología se utilizó una recopilación de los artículos y trabajos de investigación relacionados con SSP que fueron publicados por investigadores de la Facultad de Ciencias Agrarias y se procedió a comparar los resultados de las investigaciones y a discutir su relevancia e impacto a nivel productivo y formativo. Los resultados de investigación analizados permiten concluir que estos sistemas son una alternativa real de competitividad y sostenibilidad, incrementan la productividad por unidad de área y la eficiencia económica, disminuyen el impacto ambiental y diversifican la oferta de servicios a la comunidad.

Palabras clave: cambio climático, desarrollo rural, producción animal, sostenibilidad.

1. Introducción

La ganadería bovina colombiana tiene una gran importancia económica y social para el país y ha logrado grandes avances en términos productivos, biotecnológicos y de mejoramiento genético (Cano et al.,



2016; Correa-Orozco & Uribe-Velásquez, 2010) gracias al trabajo realizado en los últimos veinte años, el cual se ha orientado a generar investigación aplicada a las ciencias agrarias para atender a la necesidad de una producción bovina más competitiva, rentable y sostenible. Además, los avances han respondido a los programas del Estado, como el proyecto de ganadería colombiana sostenible, con el cual se han aunado esfuerzos para transformar la dinámica productiva hacia un modelo de producción sostenible (Mahecha & Angulo, 2012; Murgueitio, Uribe, et al., 2016 y Sarmiento, 2019).

Sin embargo, la ganadería bovina enfrenta todavía desafíos en el siglo XXI, entre los que se destacan: (i) los propios del sistema productivo, (ii) los medioambientales, (iii) los relacionados con los nuevos hábitos del consumidor y (iv) el de la formación del talento humano para la innovación y desarrollo de sistemas sostenibles de producción animal. Entre los desafíos propios del sistema se incluyen los aspectos por mejorar en el sistema productivo, como la tecnificación de los procesos, la diversidad de especies forrajeras integradas a las pasturas, el incremento de la carga animal por hectárea, el mejoramiento de los parámetros productivos para una competitividad y permanencia en el mercado nacional –así como para una mayor incursión en el mercado internacional–, el mejoramiento de las condiciones de bienestar animal en las pasturas, la adición de valor agregado a sus productos con identificación de origen, las prácticas enfocadas a la sostenibilidad del sistema conservando los recursos naturales, la contribución a la mitigación de la contaminación ambiental, entre otras (Angulo-Arizala & Mahecha-Ledesma, 2020; Mauricio et al., 2019; Tapasco et al., 2015).

Los desafíos medioambientales hacen referencia a la necesidad de la ganadería de buscar modelos de producción que le den resiliencia ante los

cambios drásticos en las precipitaciones, el incremento en la temperatura ambiental, las sequías prolongadas, las heladas y las inundaciones como consecuencia del cambio climático. En los sistemas tradicionales de manejo bovino estos cambios tienen una alta repercusión en la producción bovina, la rentabilidad y la competitividad (Tapasco et al., 2015).

Adicionalmente, la ganadería bovina también deberá enfrentar el reto de la contaminación ambiental, tanto por gases efecto invernadero (GEI) como por prácticas de manejo. Si bien la ganadería pastoril que predomina en Latinoamérica no tiene un efecto ambiental tan contaminante por gases efecto invernadero como la ganadería bovina confinada que predomina en otros países (DeClerck et al., 2020; Hall, 2013; Nepomuceno et al., 2017), hay que reconocer que igualmente es generadora de estos gases (Ku Vera et al., 2014); por lo tanto, se deberán buscar estrategias de mitigación en el sistema productivo. De igual forma, es imprescindible tecnificar las prácticas agronómicas y de manejo de pasturas (Murgueitio, Barahona, et al., 2016) para generar un uso sostenible de los recursos naturales (Navas, 2017; Parra-Cortés, Magaña-Magaña & Piñeiro-Vázquez, 2019).

Los desafíos asociados con los nuevos hábitos del consumidor se relacionan con las preferencias hacia sistemas que no afecten los recursos naturales, que fomenten el bienestar animal y que ofrezcan productos alimenticios con componentes benéficos para la salud humana. Estas exigencias han generado campañas en contra de la ganadería bovina y sus productos, con lo cual han perdido competitividad en el mercado y su perdurabilidad a largo plazo se ha visto afectada (Scollan et al., 2014). La simple presencia de grasa en la leche o en la carne ha sido relacionada con efectos perjudiciales en la salud (Angulo et al., 2013; Scollan



et al., 2017), por lo que se ha prohibido su consumo (Elsabaawy & Gad, 2021). Cabe resaltar que la prohibición no diferencia el perfil de ácidos grasos de la leche, el cual, acorde a su manejo nutricional, puede dar valor agregado al producto y prestar beneficios al consumidor (Angulo-Arizala et al., 2009; Angulo et al., 2013; Ferlay et al., 2017; Mahecha et al., 2009, 2010).

En cuanto al desafío de la formación del talento humano para la innovación y el desarrollo de sistemas sostenibles de producción animal, los esfuerzos deberán concentrarse en el fortalecimiento de la educación con enfoque sostenible. La producción agropecuaria está ligada a la población rural y, por consiguiente, a las dinámicas sociales, culturales y políticas de este entorno. El sector rural adolece de problemáticas históricas que han limitado la productividad y rentabilidad en un entorno en el que predominan los pequeños y medianos productores, los cuales tienen limitado acceso a educación de calidad, servicios públicos, infraestructura vial que una las áreas rurales con los centros poblados y acompañamiento técnico que les brinde las competencias para cambiar sus esquemas de producción y mejorar la competitividad del sector (Castaño-Reyes, Parrado-Barbosa & Molina-Ochoa, 2017; de la Ossa, Pérez-Cordero & Montes-Vergara, 2018; Echavarría et al., 2018). Una alternativa para enfrentar los desafíos mencionados es el manejo de la ganadería bovina en SSP, sistemas de producción que integran el uso de plantas forrajeras con gramíneas y leguminosas rastreras con arbustos y árboles destinados a la alimentación animal o a usos complementarios (Mahecha & Angulo, 2012). Los SSP tienen múltiples beneficios, como el aumento de la productividad, pues ofrecen una mayor cantidad de forraje con mejor calidad nutricional, producto de la diversificación de la dieta debido a la inclusión de arbustivas con alto valor proteico. De igual modo, contribuyen a la recuperación de los suelos al

favorecer el reciclaje de nutrientes, la actividad biológica de micro y macro fauna, el control de la erosión, el control de escorrentía, entre otras (Argüello-Rangel, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2019; López et al., 2017; Mejía-Díaz, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2017c; Zepeda et al., 2016).

El objetivo de este trabajo es analizar los avances investigativos que los autores han realizado en los últimos 20 años en relación con los SSP para trópico alto y trópico bajo, en el establecimiento, manejo, producción de forraje, consumo de forraje, producción y calidad de leche, producción y calidad de carne, impacto ambiental, análisis económico y bienestar animal, lo cual puede contribuir a que la ganadería supere los desafíos que le plantea el nuevo siglo.

2. Metodología

Se realizó una revisión sistemática de artículos usando como palabras clave: botón de oro, sistemas silvopastoriles, producción animal, leucaena, bancos forrajeros y sistemas silvopastoriles intensivos. Posteriormente, se clasificaron los tipos de sistemas establecidos, especies utilizadas, metodología de establecimiento y análisis económicos realizados. Se recopiló esta información y se comparó para discutir los casos más relevantes. Se hizo distinción de tres categorías de estudios: 1) establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles con botón de oro (*Tithonia diversifolia*) en trópico alto; 2) establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles con botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y leucaena (*Leucaena leucocephala*) en trópico bajo y 3) componente formativo involucrado en la investigación (se cuantificó el número de estudiantes, de acuerdo a su nivel de formación, que participó en las investigaciones a través de la metodología de aprender haciendo).



3. Resultados y discusión

3.1 Establecimiento y manejo de sistema silvopastoriles con botón de oro (*Tithonia diversifolia*) en trópico alto

Cuando se hace establecimiento de SSP con *T. diversifolia* usualmente se usan estacas entre 30-50 cm con un corte en bisel (Gallego, 2016; Mahecha-Ledesma et al., 2007) a una distancia entre surcos de 1 m y 0,5 entre plantas, para una alta densidad. El primer corte se hace a los 5 meses y posteriormente cada siete semanas, a una altura de 50 cm (Mahecha-Ledesma et al., 2007) (Figura 1). La siembra por estaca es el método de uso convencional, pero requiere de cuidados rigurosos para que el material no pierda su viabilidad –causada por daños por deshidratación–; además, el sistema radicular que se desarrolla a partir de la estaca no tiene una raíz principal fuerte, como sí sucede cuando se hace establecimiento a partir de material sexual (semilla) (Gallego, 2016; Gallego, Mahecha & Angulo, 2017a; Londoño, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2019).

En los últimos años se ha venido estudiando la germinación y el protocolo de siembra de semilla sexual (Gallego, 2016; Saavedra, 2016). Gallego (2016) evaluó la producción de biomasa y la composición bromatológica de plantas establecidas bajo tres métodos distintos: por estaca (Pes), semilla sexual con manejo *in vitro* (Piv) y semilla sexual con manejo por almácigos (Psx), con un corte de uniformización a los 4 meses post-establecimiento y cortes sucesivos a los 56 días de edad, a 30 cm de altura. Según el protocolo de siembra para semilla sexual, se requieren 5 kg/ha mezclados con gallinaza en una relación 10 kg:1 kg (gallinaza: semilla), con una siembra a menos de 2 cm de profun-



Figura 1. Sistema silvopastoril con botón de oro establecido por estaca.

Fuente: Mahecha, L.

didad tapada con una ligera capa de pasto seco (Figura 2). En el estudio de Gallego (2016) no se encontraron diferencias significativas en la composición nutricional y la producción de biomasa entre métodos de siembra, lo que validaría el uso de semilla sexual para siembra directa.



Figura 2. Sistema silvopastoril con botón de oro establecido por semilla sexual

Fuente: Mejía, E

Establecimiento de SSP

Los monocultivos están desprovistos de un estrato arbóreo o arbustivo, por lo que en época de escasez de lluvias disminuye drásticamente la disponibilidad de pasto y se expone al suelo a altas temperaturas



(Guatusmal-Gelpud et al., 2020; Ramírez et al., 2017). Por ello, es importante diversificar la composición de la pradera con la incorporación de árboles y arbustos; se pueden usar diversos diseños silvopastoriles como los surcos sencillos, dobles o setos alrededor del potrero, con una distancia entre surcos sencillos de 0,5-1 m, siguiendo una dinámica de siembra continua en el surco (Figura 3). En la Hacienda La Montaña, de la Universidad de Antioquia (ubicada en el municipio de San Pedro de los Milagros, en Antioquia), se estableció un SSP de ramoneo en franjas con un diseño de surcos de *T. diversifolia*, a una distancia de 8 metros entre estos; los surcos estaban asociados a pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) y árboles de aliso (*Alnus acuminata*) a razón de 30 árboles/ha. Este sistema no recibió ningún tipo de fertilización química y orgánica post-establecimiento (Mejía-Díaz, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2017a).



Figura 3. Diseños de sistemas silvopastoriles intensivos
Fuente: Lopera, J., Archivo del Proyecto DairyCab, UdeA

Para la siembra directa en campo, Mejía et al. (2017a) usaron una relación 10:1, mezclando 1 kg de semilla de botón de oro con 10 kg de gallinaza; sembraron a una profundidad de entre 1 y 2 cm y taparon el surco ligeramente con tierra. Luego se procedió a cubrir con heno, paja o viruta para evitar el lavado por efecto de las lluvias y para proteger las semillas de las aves (Figura 4).



Figura 4. Establecimiento de SSP con botón de oro por semilla sexual
Fuente: Mejía, E.

Manejo de SSP

Tras 3 o 4 meses del establecimiento, cuando las plantas alcanzan entre 1 y 1,2 m de altura, se realiza una poda de uniformización de la arbustiva. Para ello se hace un corte en bisel a una altura de entre 30 y 70 cm y se dejan 70 días de recuperación para el estrato arbustivo. El manejo de SSP se puede hacer en una rotación por franjas usando cinta eléctrica bajo el esquema cinta adelante-cinta atrás. Los periodos de ocupación de las franjas pueden ser de 1 día y, dado que los tiempos de descanso de la arbustiva (70 días) y la pastura (35 días) son diferentes, por cada dos rotaciones de la pastura se hace una de la arbustiva (Cardona-Iglesias, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2019a; Mejía-Díaz, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2017a) (Figura 5). Por su parte, Londoño (2017) y Mahecha, Londoño & Angulo (2021) evaluaron el pastoreo de *T. diversifolia* a 40, 50 y 60 días y encontraron que cuando las condiciones climáticas son favorables, el botón de oro soporta pastoreos desde los 50 días sin afectar su productividad, aunque se ve favorecido con pastoreos iguales o mayores a 60 días. La ingestión de forraje en un SSP



con botón de oro provee suficiente alimento para garantizar el nivel de materia seca (MS) requerido, si se compara con un monocultivo (Mejía-Díaz, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2017a), aunque puede haber una gran variabilidad en la producción de MS por factores como la frecuencia de corte, época del año, manejo del cultivo y tipo de sistema –si está asociado a otras especies– (Gallego, 2016).



Figura 5. Manejo de SSP de botón de oro con cinta eléctrica

Fuente: Cardona, L.

Resultados hallados para las variables evaluadas en SSP

Se halló que un SSP de *T. diversifolia* con *C. clandestinus* puede ofrecer 156,1 kg de MS por franja, de los cuales 152,5 son pastura y 3,6 kg arbustiva. El consumo de *T. diversifolia* estuvo asociado a la cantidad ofrecida, con una relación 95% pastura y 5% arbustiva, donde la eficiencia de ramoneo fue del 95% para la arbustiva, lo cual sugiere que una mayor oferta de esta podría aumentar su consumo. Con una mayor densidad de los arbustos en el SSP se podría obtener una mayor inclusión en la dieta; se encontraron valores de 73:27 (Mejía-Díaz, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2017a) (Figura 6). Así mismo, Cardona-Iglesias, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala (2019a) reportan valores máximos de

inclusión de 68,5:31,5 en SSP más desarrollados y con una mayor disponibilidad de forraje de la arbustiva.

El consumo total reportado por Mejía-Díaz, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala (2017a) para animales pastoreando en este SSP con suplementación a base de un concentrado comercial fue de 20,7 kg MS/an/día, mientras que para este mismo SSP Cardona-Iglesias, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala (2019a) hallaron un consumo de 19,26 kg con diferencias significativas a favor del SSP comparado con el monocultivo de gramínea; sin embargo, es preciso recalcar que se hizo suplementación con grasas insaturadas. Por otro lado, estos autores hallaron diferencias significativas para la producción de leche, con 28,24 l/día; 0,89 kg grasa/día; 0,83 kg proteína/día; 3,06 kg sólidos totales/día y 1,27 kg de lactosa/día a favor del sistema silvopastoril.

Las vacas produjeron 3,35 l más que aquellas pastoreando en monocultivo de *C. clandestinus*, comportamiento que se relaciona con los consumos totales de MS, que fueron superiores para el SSP con respecto al monocultivo, y con el efecto adicional de haber incorporado suplementación lipídica. Los resultados de estos autores muestran el efecto positivo a nivel de la producción lechera en SSP y, por consiguiente, la pertinencia de este modelo para mejorar la rentabilidad de las producciones bovinas de leche (Cardona-Iglesias, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2019a).

Adicionalmente, Mejía-Díaz, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala (2017b) hallaron que el porcentaje de grasa láctea en este sistema silvopastoril fue superior con respecto a las vacas que pastorearon en el monocultivo debido al mayor consumo de carbohidratos estructurales, lo cual se evidencia en un consumo de FDN de 9,9 kg/an/día. El contenido dietario de fibra tiene incidencia en la proporción de grasa de la leche, puesto que los ácidos grasos de cadena corta y el 50% de los ácidos



Figura 6. Relación del consumo del botón de oro con respecto a lo ofertado
Fuente: Mejía, E.

grasos de cadena media provienen de la síntesis de novo a partir de precursores como los ácidos grasos volátiles acético y butírico, los cuales se generan en la fermentación ruminal producto de la digestión de la fibra (Angulo-Arizala, Mahecha-Ledesma & Olivera., 2009).

Aunque en ambos grupos evaluados el NUL está por encima de lo recomendado, se hallaron diferencias con un valor de 20,3 para la leche proveniente de las vacas que pastorearon en el SSP, valor que es menor en comparación con la leche de las vacas en monocultivo (23,4) (Mejía-Díaz, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2017b). Esto resulta positivo pues sugiere una mayor eficiencia en la utilización del nitrógeno, probablemente por la inclusión de botón de oro y su aporte en carbohidratos no estructurales (los cuales representan más energía disponible para la síntesis de proteína microbiana) (Cardona-Iglesias, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2019a; Mejía-Díaz, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2017b).

Además de la evaluación de parámetros productivos, se investigó el efecto de la diversificación de la dieta con la inclusión de arbustivas y grasas poliinsaturadas sobre las emisiones de metano. En este sentido, se hizo un estudio de fermentación *in vitro* en el que se analizaron sustratos de *T. diversifolia*, *C. clandestinus* y alimento concentrado, adicionando diferentes niveles de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) para estimar la producción de metano, digestibilidad de la materia seca (DIVMS) y producción de ácidos grasos volátiles. Los resultados arrojaron que la inclusión de *T. diversifolia*, *C. clandestinus* y AGPI disminuyó la producción de metano (CH4) *in vitro*, con valores de 34,5 ml CH4/g MSd (24 horas) y 36,8 ml CH4/g MSd (48 horas) en sustratos con *T. diversifolia* con respecto a sustratos sin esta arbustiva, donde se hallaron valores a las 24 y 48 horas de 45,9 5 ml CH4/g MSd y 50,7 5 ml CH4/g MSd respectivamente.

De igual forma, se incrementó la DIVMS en un 13,4% y 7,7% más a las 24 y 48 horas respectivamente en sustratos con *T. diversifolia* (Cardona-Iglesias, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2017b). Al hacer la estimación de las emisiones de metano en los sistemas de pastoreo, comparando el SSP de *T. diversifolia* con el monocultivo de *C. clandestinus*, las vacas del monocultivo tuvieron menores valores CH4 en g-CH4 an/día, con un valor de 314 g-CH4 an/día frente a 322 g-CH4 an/día para el SSP. Sin embargo, al expresar el metano CH4 en función de los litros de leche producida (g-CH4 /L leche producida), hubo menos producción de CH4 para las vacas del SSP (11,4 g-CH4 /L) con relación a las del monocultivo (12,5 g-CH4 /L); esto indica que los animales del SSP, suplementados con AGPI, por pueden tener una menor producción de CH4 por unidad de producto obtenido, lo que indicaría la acción de los metabolitos secundarios de *T. diversifolia* y de los AGPI de la dieta en la disminución de la metanogénesis (Cardona-Iglesias, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2016, 2019b).



Cardona-Iglesias, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala (2017a) reportan un balance de nitrógeno a favor de las vacas en el SSP comparado con el monocultivo de gramínea, el cual se relaciona con una menor excreción de nitrógeno al ambiente por orina y heces y una mayor retención de N en el animal, la cual pudo potencializarse en la mayor productividad encontrada. En el botón de oro se han aislado más de 150 compuestos secundarios (Zhao et al., 2012) cuya proporción puede variar de acuerdo con las condiciones abióticas –lluvia y temperatura– en las que se desarrolle la planta, la fenología y la edad de utilización de la planta (Cardona-Iglesias, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2016, 2017b).

Entre los compuestos hallados están las saponinas (triterpenoides) y taninos, a las que se les ha atribuido una posible capacidad de reducción de la producción de metano en el rumen (Cardona-Iglesias, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2016, 2017b; Gallego, 2016) al generar un cambio en la biota ruminal que disminuye la población metanogénica (Vasta et al., 2019). Al respecto, Cardona-Iglesias, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala (2017) hallaron un valor de 1,4 g catequina/kg MS (taninos concentrados) y 4,53 g diosgenina/kg MS (saponinas) para muestras de *T. diversifolia*, cuya presencia podría tener un efecto benéfico en la reducción de la cantidad de metano cuando se incluye en la dieta de bovinos a través de esquemas como los SSP.

Respecto al análisis económico de los SSP, Mejía-Díaz, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala (2017b) estimaron que en un SSP de botón de oro para producción de leche puede haber un incremento del 50% en los ingresos netos/ha/año con respecto al monocultivo. Esto fue asociado a menores costos de producción por litro en el SSP (655,78 COP o 0,24 USD) vs monocultivo (801,78 COP o 0,26 USD) y a una mayor producción por ha/año (32.449 l) con una carga de 4,6 UA. Los resultados fue-

ron proyectados con el uso de dos fertilizaciones por año, con lo cual se encontró también un menor costo de producción por litro en el SSP (692,43 COP o 0,25 USD). Esto hace que la producción de leche en el SSP sea más rentable: si bien la calidad composicional de la leche no varió entre sistemas y el costo de venta del litro de leche fue el mismo, la diferencia radicó en la reducción de los costos de producción. Los costos de producir un litro de leche en un monocultivo de *C. clandestinus* es superior al SSP, debido a que se requiere de fertilización nitrogenada a razón de 550 kg N/ha/año, que corresponde al 19% del costo del litro de leche producido, mientras que el SSP requeriría 105 kg N/ha/año.

El botón de oro se ha utilizado también en bancos forrajeros para posteriormente destinar el material a ensilaje o elaboración de harinas para suplementación (Mahecha-Ledesma et al., 2007; Ruiz et al., 2014). Gallego, Mahecha & Angulo (2017b) evaluaron la suplementación de vacas Holstein con harina de botón de oro, a una inclusión del 0%, 15% y 25%, y encontraron que la inclusión de un 25% en el suplemento favorece la concentración de lactosa (0% 4,46, 25% 4,63), la eficiencia en el uso del suplemento y la relación costo beneficio. Esto, pues se redujo el costo por kg de suplemento a medida que se incluyó el botón de oro como reemplazo de otras materias primas, con 725,35 COP (0,24 USD) para 1 kg de suplemento con el 25% de inclusión, frente a 816,95 COP (0,27 USD) cuando no se incluyó harina de botón de oro. Además del aspecto económico, se observó una mejor calidad higiénica de la leche, puesto que el recuento de células somáticas (RCS) disminuyó con la inclusión de la harina de botón de oro: con una inclusión del 25% de harina de botón de oro el RCS fue de 44,08 CS/ml, mientras que cuando no se incluyó en la dieta fue de 177,08 CS/ml.

Cardona-Iglesias, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala (2019a) también encontraron una disminución de RCS de la leche de vacas manejadas en



SSP vs monocultivo (67,26 CS/ml vs 125,35 CS/ml respectivamente). La disminución de células somáticas con la inclusión de botón de oro en la dieta de las vacas ha sido asociada al efecto antiinflamatorio de los metabolitos secundarios presentes en esta planta, como los sesquiterpenos de lactona (Chagas et al., 2011). Estos resultados incentivarón el inicio de la exploración en los efectos del botón de oro en procesos relacionados con la mastitis bovina. Londoño et al. (2020) evaluaron la acción antimicrobiana del extracto alcohólico de hojas, tallos y flores de *Tithonia diversifolia* sobre el crecimiento de *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli* en cultivo *in vitro*. En este estudio se evaluó el efecto inhibitorio en el crecimiento bacteriano con un ensayo de sensibilidad y se encontró que, a pesar de que el control positivo presentó un halo de inhibición superior a 30 mm, mayor al de los extractos de *T. diversifolia*, estos presentaron un halo de 9,7 y 10,4 mm para *S. aureus* y de 6,5 y 9,4 mm para *E. coli* en tallo-hoja y flores, respectivamente, lo cual destaca el efecto potencial del extracto alcohólico de flores para inhibir el crecimiento bacteriano.

3.2 Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles con botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y leucaena (*Leucaena leucocephala*) en trópico bajo

Sistemas silvopastoriles con botón de oro

(Tithonia diversifolia)

Establecimiento de SSP

Se han desarrollado investigaciones en diversos departamentos del país, como Antioquia, Córdoba, Tolima y Valle del Cauca, para validar arreglos en pastoreo y en bancos forrajeros con especies capaces de adaptarse a diversas condiciones edáficas y climáticas, de especial rele-

vancia para zonas degradadas por las prácticas extensivas de la producción bovina. Se han evaluado variables productivas, como la ganancia de peso y el desarrollo; ambientales, como las emisiones de metano, y de bienestar animal, asociadas a la cobertura arbórea y su relación con la dinámica etológica de los bovinos (Argüello-Rangel, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2020a; Barragán-Hernández, Mahecha-Ledesma & Cajas-Girón, 2015; Mahecha-Ledesma et al., 2012; Mahecha-Ledesma, Angulo-Arizala & Barragán-Hernández, 2017).

Argüello-Rangel, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala (2020a) investigaron sobre el establecimiento de SSP para ramoneo con *T. diversifolia* en la Hacienda La Candelaria de la Universidad de Antioquia, Bajo Cauca, Antioquia. Allí se preparó un área de 1,3 ha con un SSP de baja densidad integrado por arbustos *T. diversifolia*, árboles para sombra y una asociación de pasto toledo (*Urochloa brizantha*) y pasto humidícola (*Urochloa humidicola*); se conservó la arborización presente y se establecieron árboles de totumo (*Crescentia cujete*) por semilla sexual y de matarratón (*Gliricidia sepium*) con estacas de 2,5 m de largo. Con respecto al diseño, se realizó el trazado del terreno subdividiendo el área en 16 franjas de 6 metros de ancho. En cada una se trazaron 2 surcos de *T. diversifolia* a una distancia de 5 m entre estos. Los árboles de *Crescentia cujete* se incluyeron en el trazado, a la mitad de los 2 surcos de botón de oro de cada franja. En cuanto a *G. sepium*, se trazaron a una distancia de 2 m en el perímetro del potrero (Figura 7). Para la siembra del botón de oro se usaron 7 kg de semilla sexual/ha, mezclando según protocolo de Gallego (2016). La siembra se hizo directamente en campo a menos de 2 cm de profundidad y se tapó con tierra y pasto seco.

La siembra de semilla sexual directamente en campo continúa en investigación para mejorar la germinación, debido a que se han encontrado



porcentajes de germinación del 25%, que, si bien no son deseables, son susceptibles de mejorar, como puede verse en el estudio controlado en placas de petri de Rodríguez et al. (2019), quienes encontraron una germinación cercana al 70%. Para el caso del totumo, se estableció un surco en la mitad de cada franja y se sembró la semilla junto con la pulpa a una profundidad menor a 2 cm y se tapó ligeramente con tierra. En cuanto al pasto, se sembró al voleo, a razón de 8 kg/ha, teniendo en cuenta que en las zonas susceptibles a encharcamiento (alto nivel freático) se conservara el pasto humidícola ya existente (Figura 8).

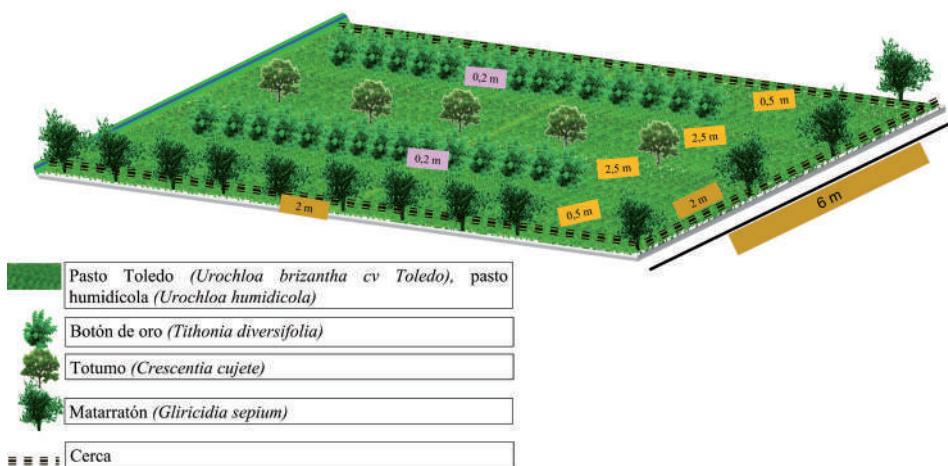


Figura 7. Diseño de las franjas del sistema silvopastoril

Fuente: Argüello, J.

Además del establecimiento de SSP para ramoneo, los autores evaluaron el potencial de *T. diversifolia*, *G. sepium* y *C. cujete* en un diseño de banco forrajero. Para ello, Argüello-Rangel, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala (2020b) trazaron parcelas de 8 m x 7 m (56 m² c/u). La siembra se realizó con un modelo de surcos dobles a una distancia de 20 cm entre plantas, 75 cm entre surcos sencillos y 1 m entre surcos



Figura 8. Establecimiento de SSP con *T. diversifolia*, Bajo Cauca Antioqueño
Fuente: Argüello, J.

dobles (Figura 9). Para la siembra se usó semilla sexual de *T. diversifolia*, *G. sepium* y *C. cujete*. El botón de oro se manejó según el protocolo de Gallego (2016) y se realizó siembra directa en campo entre 1 y 2 cm de profundidad, tapando ligeramente con tierra y pasto seco. La semilla de *G. sepium* se hidrató durante doce horas (0,5 kg), posteriormente se secó al sol durante seis horas y se procedió a sembrar en campo a 2,0 cm de profundidad. En cuanto a *C. cujete*, la semilla se sembró a menos de 2,0 cm de profundidad sin separarla de la pulpa del fruto.

Manejo de SSP

En la investigación de Argüello-Rangel, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala (2020a) se realizó control de arvenses durante 5 meses post-establecimiento. Previo al pastoreo y transcurridos 6 meses del establecimiento, se hizo un corte de uniformización del botón de oro, realizando un corte en bisel a 1 m de altura. Se manejó un sistema de rotación por franjas con cinta eléctrica, con un total de 16 franjas, con un periodo de ocupación de 2

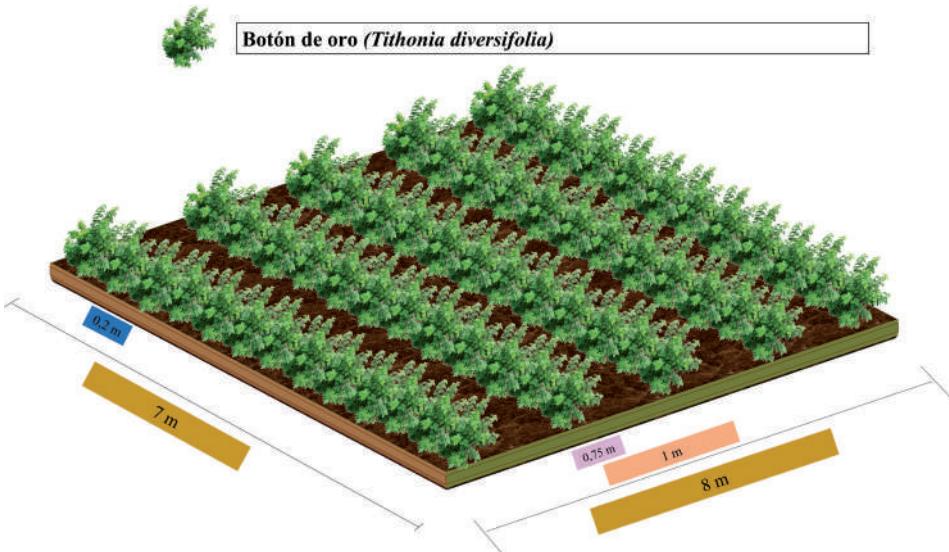


Figura 9. Ilustración del diseño de las parcelas experimentales

Fuente: Argüello, J.

días y 30 días de descanso por franja y se dejó disponible un surco de botón de oro por franja/pastoreo con el fin de dar 60 días de recuperación a la arbustiva (Figura 10 y 11). Para este sistema se estimó que, en un manejo rotacional por franjas como el implementado, en 1 ha en SSP se podría tener 4,16 UGG en época lluviosa y 3,26 UGG en época seca.

En el caso de bancos forrajeros, se hizo control de arvenses previo al corte de uniformización y durante el periodo de evaluación de las parcelas (Argüello-Rangel, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2020b). El corte de uniformización se hizo cinco meses post-establecimiento, aplicando un corte en bisel a 0,70 m del suelo. Se realizaron cortes cada 60 días en época de baja precipitación y cada 45 días en época de alta precipitación. Al banco forrajero y al sistema silvopastoril se les aplicó un mínimo manejo agronómico sin uso de enmiendas, ni fertilización química, puesto que el objetivo fue identificar el potencial de arbustivas forraje-

ras con la capacidad de producir forraje de calidad en condiciones de suelos pobres (Figura 12).



Figura 10. Corte de uniformización del SSP con *T. diversifolia*

Fuente: Argüello, J.



Figura 11. Pastoreo en franjas en SSP de *T. diversifolia*, Bajo Cauca Antioqueño

Fuente: Argüello, J.



Figura 12. Banco forrajero de *T. diversifolia*, *G. sepium*, y *C. cujete*

Fuente: Argüello, J.



Resultados hallados para las variables evaluadas

En el SSP establecido por Argüello-Rangel, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala (2020a) se evaluó el comportamiento productivo de hembras de levante BON x cebú y se hallaron mayores ganancias de peso entre este (743 g/an/día) que en un monocultivo de *U. brizantha* cv. Toledo y *U. humidicola* (478 g/an/día). Lo anterior estuvo asociado a la calidad de la dieta ofertada en el SSP, pues *T. diversifolia* presentó 27,4% de PC y, además, la oferta de MS por m² fue mayor en el SSP (0,28 kg/m²) que en el monocultivo (0,24 kg/m²). La relación (%) pastura:arbustiva estuvo en 95,92:4,07 y esto, asociado a que el porcentaje de consumo de *T. diversifolia* fue del 96,1%, sugeriría que la ingesta de la arbustiva estuvo limitada por la oferta y la densidad del estrato arbustivo en el SSP. A una mayor densidad de la arbustiva, el porcentaje consumido podría aumentar (Mejía-Díaz, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2017a; Rivera et al., 2015).

En referencia al banco forrajero evaluado por Argüello-Rangel, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala (2020b), se estimó una producción anual proyectada de MS de 13,87 t/ha/año para *Crescentia cujete*, 23,2 t/ha/año para *Gliricidia sepium* y 18,47 t/ha/año para *Tithonia diversifolia*. De igual forma, se halló que *Crescentia cujete* presentó los valores más altos de FDN (46,5%) y FDA (25,1%), mientras *Tithonia diversifolia* reportó los valores más bajos (32,6% FDN y 14,4% FDA). Con relación a la PC, los valores más altos fueron para botón de oro y matarratón, con 25,2% y 24,3% respectivamente, mientras que el totumo tuvo un 15,0%. Los resultados del estudio sugieren la capacidad de adaptación de estas arbustivas a suelos pobres y revelan que estas especies tienen un alto potencial para aumentar la producción forrajera de las unidades productivas, así como la calidad nutricional de la dieta (Argüello-Rangel, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2019, 2020b).

Por su parte, Mahecha-Ledesma, Angulo-Arizala y Barragán-Hernández (2017) evaluaron la calidad bromatológica, degradación de MS y potencial mitigador de metano de forrajes provenientes de arreglos silvopastoriles con niveles de sombra de 0%, 30% y 60% y con la inclusión de las arbustivas *Tithonia diversifolia* y *Cratylia rgéntea*, en asocio con *U. brizantha* cv. Toledo, *U. decumbens*, y *Brachiaria híbrido* cv. Mulato II. Se halló efecto para la concentración de ácido linoleico a favor del sistema de *U. brizantha* cv. Toledo con *Tithonia diversifolia* (0,28 g/100 g de MS), lo que resulta favorable comparado con un monocultivo de *U. decumbens* donde este ácido graso tuvo valores de 0,184 g/100 g de MS.

Sistemas silvopastoriles con leucaena (*Leucaena leucocephala*)

Establecimiento de SSP

En el año 2020 se celebró el Convenio interadministrativo No. 4600010768 entre la Secretaría de Agricultura de Antioquia y la Universidad de Antioquia para la implementación del proyecto “Mejoramiento de la cadena cárnica bovina del Urabá Antioqueño a través del desarrollo e implementación de un polo de desarrollo cárnico basado en la producción bovina sostenible en SSP intensivos”. Con este proyecto se implementaron SSP con leucaena en 84 predios del Urabá Antioqueño, lo cual dio como resultado 264,7 ha intervenidas, con un diseño consistente en un arreglo de leucaena sembrada a 20 cm entre planta y a 1,5 m entre surcos, para un total de 40 surcos de leucaena/ha. Cada 4 surcos de leucaena se estableció un surco de árboles para sombrío utilizando *G. sepium*, *Moringa oleífera*, y *Crescentia cujete*, a 4 m entre planta y un total de 9 surcos/ha, para 24 árboles/surco/ha. Adicional al estrato arbustivo y arbóreo, se realizó establecimiento de pasturas mejoradas con *Megathyrsus maximus* cv. Tanzania y *Urochloa brizantha* cv. Toledo.



La importancia de esta iniciativa es que se fortalecieron las capacidades productivas de pequeños y medianos productores a través del acceso a un modelo de producción sostenible, apalancado con los recursos del Estado y con el acompañamiento técnico brindado por la Universidad de Antioquia desde su experiencia académica e investigativa en producción bovina sostenible. Dichos SSP están siendo monitoreados y evaluados por un estudiante de la Maestría en Ciencias Animales de la Universidad de Antioquia para validar esta experiencia de extensión rural y caracterizar los parámetros productivos y agronómicos de estos (Figura 13).



Figura 13. Sistema silvopastoril intensivo de leucaena en la subregión de Urabá
Fuente: Convenio No. 4600010768

Manejo de SSP

Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) con leucaena se han manejado a diferentes tiempos de rotación. Por ejemplo, en la Reserva Natural El Hatico se reportan rotaciones de 42 días, con igual número de potreros, para una ocupación de 1 día por potrero y una carga animal de 4,1 an/ha (Mahecha-Ledesma, Durán, & Rosales, 2000; Mahecha-Le-

desma et al., 2000, Mahecha & Angulo, 2012). Por su parte, Barragán-Hernández, Mahecha-Ledesma & Cajas-Girón (2016) manejaron un pastoreo rotacional por franjas con dos días de ocupación y 28 de descanso, aunque en este sistema la presencia de leucaena era de baja densidad. La leucaena se adapta bien en condiciones de trópico medio y bajo y requiere de suelos de mediana a alta fertilidad con pH con tendencia a neutro o básico, es decir que no se desarrolla bien en suelos ácidos y con toxicidad de aluminio (Murgueitio, Barahona, et al., 2016; Murgueitio, Uribe, et al., 2016).

Resultados hallados para las variables evaluadas

Según Mahecha-Ledesma, Durán y Rosales (2000), los SSPi con *L. leucocephala* y *C. plectostachyus* ofrecen una mayor disponibilidad de forraje con 29,9 t/MS/ha/año, correspondiente a 25,2 t/MS/ha/año para *C. plectostachyus*, 4,1 t/MS/ha/año para *L. leucocephala* y 0,4 t/MS/ha/año para *P. juliflora*. El monocultivo de *C. plectostachyus* generó 23,1 t/MS/ha/año con fertilización nitrogenada a razón de 400 kg de urea/ha/año, siendo superior la producción de pasto del SSPi. Los autores señalaron que la leucaena presenta una alta calidad nutricional con valores proteicos de 26,3% PC y que contribuye a fijar nitrógeno, mejorar la estructura del suelo y el reciclaje de nutrientes, lo que en consecuencia favorece la producción de biomasa que se observó en el estudio. Además, en este sistema silvopastoril se ha reportado un consumo de forraje promedio de 9,5 kg/animal/día, en el que 7,7 kg corresponden a *C. plectostachyus* y 1,8 kg a leucaena, para una proporción gramínea:leucaena de 81:19 y un consumo total de 13 kg MS/animal, incluyendo pastoreo más concentrado (Mahecha-Ledesma, Durán, & Rosales, 2000; Mahecha-Ledesma et al., 2000).

Por su parte, Barragán-Hernández, Mahecha-Ledesma & Cajas-Girón (2016) evaluaron tres arreglos silvopastoriles: (i) árboles y pasto, (ii) pas-



to y arbustos y (iii) pasto, árboles y arbustos. El tratamiento control fue un monocultivo de *Megathyrsus maximus*, *Dichanthium aristatum* y *Cynodon nemfuensis*. Las arbustivas usadas fueron *Leucaena leucocephala* y *Crescentia cujete* y los árboles fueron *Guazuma ulmifolia*, *Cassia grandis* y *Albizia saman*. Se evaluó la calidad forrajera y la composición de la leche de animales cruce Romosinuano (50%), Holstein (25%) y Cebú Comercial (25%) y se hallaron mayores valores de PC para el pasto del arreglo compuesto por los tres estratos (pastura, arbustivas, árboles) (12,6%), mientras que el tratamiento sin árboles registró 9,7% de PC. El arreglo de pastura y arbustivas tuvo el valor más alto en cuanto a la carga animal (3,6 an/ha) y la mayor producción de leche (12,8 l/ha), que fue atribuida al incremento en la calidad de la dieta en este SSP con relación al monocultivo.

Del mismo modo, Barragán-Hernández, Mahecha-Ledesma & Cajas-Girón (2015) evaluaron parámetros fisiológicos y metabólicos como indicadores de estrés calórico. Los autores observaron que los sistemas con pasto y arbustos y el de pasto, árboles y arbustos tuvieron un 6% y 7% menos de temperatura ambiental respectivamente. La temperatura de la piel y la frecuencia respiratoria de los animales que pastorearon en estos fue de 36,55 °C para el sistema pasto:árboles, de 36,39 °C para el sistema pasto:árboles:arbustos y de 37,91 °C para el monocultivo. En cuanto a la frecuencia respiratoria de los animales, en el sistema pasto:árboles fue de 63,92 rpm; en el sistema pasto:árboles:arbustos de 61,94 rpm y para el monocultivo, 70,82 rpm.

En esta misma línea de evaluación de lechería tropical (LT) y doble propósito (DP) en SPPi, Prieto-Manrique et al. (2016) compararon el efecto de la dieta de 4 fincas, el número de partos y el tercio de lactancia sobre el porcentaje de grasa y la concentración de ácido linoleico conjugado c9-t11 (ácido ruménico), ácidos transvaccénico (ATV) y otros ácidos

grasos de cadena larga (AGCL). De los predios evaluados, dos eran sistemas convencionales de solo gramíneas (*Cynodon plectostachyus* y *Megathyrsus maximus* cv. Tanzania) y dos SSPi con *Cynodon plectostachyus*, *Megathyrsus maximus* cv. Tanzania y *Leucaena leucocephala*. En este estudio hubo efecto del tercio de lactancia sobre el contenido de grasa en leche en los SSPi LT y DP. La proporción de ALC-c9t11 en la leche estuvo entre 1,28% y 2,22% y de ATV entre 4,40% a 6,50%, con un índice de aterogenicidad entre 1,69 a 2,89.

Las proporciones de ácidos grasos halladas en la leche fueron asociadas a la alta participación de la grasa de los suplementos (51 a 84%) con relación al total de grasa consumida y su composición. Prieto-Manrique et al. (2018) también evaluaron la suplementación con aceite de semilla de girasol. En LT las vacas recibieron suplementación con concentrado en una relación pasto:concentrado de 71:29 y, a su vez, una relación pastura:arbustiva de 84:16; es decir que el 11,3% del total de la dieta estuvo compuesto de la arbustiva. La inclusión de aceite de semilla de girasol tuvo efecto sobre la proporción de ALC-c9t11 (2,92%) y TVA (14,5%), la cual se incrementó de manera lineal con la adición del aceite en la dieta (40 g/kg MS). En comparación con el tratamiento sin inclusión, los valores de ALC-c9t11 fueron de 1,26% y los de TVA de 6,52%.

En DP, la relación forraje:concentrado fue 83:17 y la de pastura:arbustiva de 80:20, de modo que la leucaena representó el 16,6% de la dieta, con lo cual se incrementó la proporción de ALC-c9t1 (2,6%), TVA (12,1%) y ácido linoleico (1,51%) en la dieta con 40 g/kg MS de inclusión de aceite; mientras que el tratamiento sin inclusión de aceite tuvo valores de 1,16% para ALC-c9t11, 4,49% para TVA y de 0,63% para ácido linoleico. La proporción de ácido linoleico conjugado (CLA) se ha asociado a efectos benéficos en la salud humana como la reducción del índice de aterogenicidad, lo que sugiere que este tipo de dietas podrían conferir a



la leche el atributo de alimento funcional (Mahecha et al., 2008; Prieto-Manrique et al., 2018). De igual modo, con una inclusión de aceite de 40 g/kg MS hubo una reducción del índice tanto en LT como en DP (1,01 para LT y 0,60 para DP), frente al tratamiento sin inclusión de aceite (2,10 para LT y 2,85 para DP).

En relación con la producción de carne en SSPi, Mahecha-Ledesma et al. (2012) llevaron a cabo una investigación en la Hacienda El Chaco, en el departamento del Tolima (ver Figura 14), la cual tiene un arreglo compuesto por más de 30.000 arbustos/ha de *Leucaena leucocephala*, pasto estrella *Cynodon plectostachyus* y 500 árboles maderables/ha entre iguá (*Albizia guachapele*), neem (*Azadirachta indica*) y teca (*Tectona grandis*) (Figura 14). Se manejó una carga de 3,5 UGG/ha y se evaluaron dos épocas: una de precipitación normal (PN) y otra de sequía prolongada (SP). Los resultados del estudio revelaron que, en PN, el SSPi tuvo ganancias de peso de 882 g/an/día y 832 g/an/día para animales tipo taurus e indicus respectivamente, con lo cual se alcanzó a los 8 meses de ceba un peso 452 kg (1098 kg/ha/año) y 450 kg (1025 kg/ha/año) para taurus e indicus respectivamente. En SP, la ceba se prolongó 15,87 meses y las ganancias de peso fueron superiores para los indicus (608 g/an/día, 472 kg 731 kg/ha/año) en comparación con los taurus (513 g/an/día, 441 kg y 600 kg/ha/año).

El SSPi, tanto en PN como en SP, fue superior con relación a la producción en monocultivo (128 kg/ha/año para animales tipo indicus, y 91 kg/ha/año tipo taurus). Esto sugiere una capacidad adaptativa del indicus a condiciones climáticas adversas, y que, aun en estas condiciones, los SSPi siguen siendo más productivos que un sistema de monocultivo (Mahecha-Ledesma et al., 2012). El cambio en el esquema productivo hacia los SSPi tiene implicaciones en cuanto a la reducción de la pre-

sión sobre los ecosistemas, toda vez que se optimiza la producción por unidad de área y se podría liberar área cuya vocación de suelo es de tipo agrícola o de conservación (Arango et al., 2016; Mahecha & Angulo, 2012).



Figura 14. Sistemas silvopastoril intensivo, Hacienda EL Chaco, Tolima
Fuente: Mahecha, L.

3.3 Componente formativo

Como parte del objetivo de formación de la línea de investigación en sistemas sostenibles de producción animal se han vinculado estudiantes de pregrado y posgrado a lo largo de los años de trabajo. De pregrado se vincularon estudiantes del programa de Zootecnia y de Ingeniería Agropecuaria de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, tanto en la modalidad de práctica profesional como de trabajo de grado. En cuanto a posgrados, se han formado profesionales de la Maestría en Ciencias Animales y del Doctorado en Ciencias Animales.

La temática se ha enfocado principalmente en la evaluación de especies de interés forrajero como *Tithonia diversifolia*, *Leucaena leucocephala*, pero también de otras especies como *Morus sp*, *Trichanthera giganteam*



Tabla 1. Estudiantes formados en producción sostenible

Nivel de formación	Programa académico	Tipo de trabajo desarrollado	Número de estudiantes formados
Pregrado	Zootecnia	Práctica profesional	13
Pregrado	Ingeniería Agropecuaria	Práctica profesional	2
Pregrado	Ingeniería agronómica	Pasantía internacional estudiantes Francia	3
Pregrado	Zootecnia	Trabajo de grado para obtención del título	21
Posgrado	Maestría en Ciencias Animales	Trabajo de investigación para obtención del título	10
Posgrado	Doctorado en Ciencias Animales	Tesis investigativa	4
Posgrado	Doctorado	Pasantía internacional Universidad de Brasil	1

Fuente: elaboración propia

Erythrina edulis, *Acacia mangium*, *Eucalyptus tereticornis*, *Cratylia rgéntea*, *Crescentia cujete*, *Gliricidia sepium*, entre otras (Angulo-Arizala, Rodríguez & Mahecha-Ledesma, 2005; Mahecha-Ledesma et al., 2012). Se han evaluado SSPi, bancos forrajeros, pastoreo en plantaciones, productividad de bovinos de carne y leche y el impacto ambiental tanto en lo relacionado con emisiones de gases de efecto invernadero como con la relación suelo-planta-animal (Barragán-Hernández, Mahecha-Ledesma & Cajas-Girón, 2015; Cardona-Iglesias, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2017b). En el caso de las prácticas profesionales, los estudiantes se han vinculado a unidades productivas con SSP o a procesos de implementación.

En cuanto a las tesis de pregrado, trabajos de investigación de maestría y tesis doctorales, estas se han basado en la ejecución de proyectos de investigación que evaluaban SSP existentes o que contemplaban tanto el establecimiento como la evaluación de los mismos (Gallego, Mahecha

& Angulo, 2017b; Prieto-Manrique et al., 2016). Uno de los componentes ha sido la investigación de las propiedades agronómica y nutricionales de arbustivas forrajeras y la experimentación con diversas formas de propagación (Gallego, 2016). De igual modo, se ha venido profundizando en la evaluación de otros efectos benéficos de la inclusión de arbustivas forrajeras, como el efecto en la reducción de las emisiones de metano (Cardona-Iglesias, Mahecha-Ledesma & Angulo-Arizala, 2019b; Mahecha-Ledesma, Angulo-Arizala & Barragan-Hernandez, 2017) o en el perfil de ácidos grasos de la leche (Prieto-Manrique et al., 2016, 2018).

Los conocimientos validados a través de estos procesos investigativos han servido de base para la implementación de SSP en proyectos de extensión rural desarrollados por la Facultad de Ciencias Agrarias. Esto ha permitido consolidar la articulación de la academia a la realidad productiva y ha contribuido a los objetivos contemplados por la Ley 1876 de 2017, por medio de la cual se crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNTA).

4. Conclusiones

Las investigaciones realizadas en materia de SSP han contribuido a validar protocolos de siembra, manejo y evaluación de diversos arreglos que apuntan a dar respuesta a los desafíos de mejoramiento de las unidades productivas. Estos arreglos hacen énfasis en prácticas ambientales sostenibles que atiendan al desafío de mitigación y adaptación al cambio climático. Es de especial relevancia la identificación de las propiedades agronómicas y nutricionales de arbustivas forrajeras, como el botón de oro y leucaena y, más recientemente, de totumo y matarratón, como mecanismo para explorar técnicas de fácil aplicación en condiciones productivas, aprovechando el potencial de las especies según su habilidad adaptativa a diversas condiciones edáficas y climáticas.



En cuanto a los desafíos relacionados con los nuevos hábitos de los consumidores, es preciso continuar investigando las propiedades de los metabolitos secundarios de las arbustivas de uso forrajero, su incidencia en la calidad de la carne y la leche y de qué manera pueden ofrecer las características de un alimento funcional. El último reto de suma relevancia es la formación de capital humano con las competencias para asumir los desafíos de cambiar la dinámica de la producción primaria desde un enfoque ambientalmente sostenible y orientado a generar productos que atiendan las necesidades de los consumidores en cuanto a la inocuidad y calidad nutricional. En este contexto, la actividad investigativa que posibilita la financiación con proyectos y el apoyo de la Universidad de Antioquia es la herramienta para la formación de profesionales a nivel de pre y posgrado con las competencias pertinentes para abordar los retos que demanda la producción bovina.

5. Referencias bibliográficas

Angulo-Arizala, J., & Mahecha-Ledesma, L. (2020). Los sistemas silvopastoriles como estrategia para la articulación de la ganadería bovina a desafíos del siglo XXI. *Cátedra Abierta Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia*, 45.

Angulo-Arizala, J., Mahecha-Ledesma, L., & Olivera, M. (2009). Síntesis, composición y modificación de la grasa de la leche bovina: Un nutriente valioso para la salud humana. *Revista MVZ Cordoba*, 14(3), 1856–1866. <https://doi.org/10.21897/rmvz.346>

Angulo-Arizala, J., Rodríguez, I., & Mahecha-Ledesma, L. (2005). Producción y calidad del follaje de *Acacia mangium* Willd bajo tres frecuencias de corte en dos épocas del año. *Livestock Research for Rural Development*, 17(5). <http://www.lrrd.org/lrrd17/5/angu17052.htm>

Angulo, J., Olivera, M., Mahecha, L., Nuernberg, G., Dannenberger, D., & Nuernberg, K. (2013). Distribution of conjugated linoleic acid (CLA) isomers and cows fed different lipid supplements. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 26, 79–89.

Arango, J., Gutiérrez, J., Mazabel, J., Pardo, P., Enciso, K., Burkart, S., Sotelo, M., Hincapié, B., Molina, I., Herrera, Y., & Serrano, G. (2016). Estrategias Tecnológicas para Mejorar

la Productividad y Competitividad de la Actividad Ganadera: Herramientas para Enfrentar el Cambio Climático. In *CIAT No. 414 (Issue February)*. https://cgospace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/71101/CIAT_ESTRATEGIAS_TECNOLOGIAS_PARA_MEJORAR_LA_PRODUCTIVIDAD_Y_COMPETITIVIDAD_DE_LA_ACTIVIDAD_GANADERA.pdf

Argüello-Rangel, J., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2019). Fodder shrubs relevance in cattle systems of Colombian low altitude lands. *Agronomía Mesoamericana*, 30(3), 899–915. <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.35136>

Argüello-Rangel, J., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2020a). Desarrollo de novillas BON x Cebú en un silvopastoril de *Tithonia diversifolia*, en Antioquia, Colombia. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 18(2), 48–59.

Argüello-Rangel, J., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2020b). Perfil nutricional y productivo de especies arbustivas en trópico bajo, Antioquia (Colombia). *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1–20. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1700

Barragán-Hernández, W., Mahecha-Ledesma, L., & Cajas-Girón, Y. (2015). Variables fisiológicas-metabólicas de estrés calórico en vacas bajo silvopastoreo y pradera sin árboles. *Agronomía Mesoamericana*, 26(2), 211–223.

Barragán-Hernández, W., Mahecha-Ledesma, L., & Cajas-Girón, Y. (2016). Efecto de sistemas silvopastoriles en la producción y composición de la leche bajo condiciones del valle medio del río sinú, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 8(2), 187–196. <https://doi.org/10.24188/recia.v8.n2.2016.186>

Cano, C., Iregui, A., Ramírez, M., & Tribín, A. (2016). *El desarrollo equitativo, competitivo y sostenible del sector agropecuario en Colombia*. Banco de la República. http://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/9328/LBR_2016-11.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cardona-Iglesias, J., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2016). Arbustivas forrajeras y ácidos grasos: estrategias para disminuir la producción de metano entérico en bovinos. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 273–288. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21466>

Cardona-Iglesias, J., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2017a). Balance nitrogenado en vacas lecheras pastoreando sistemas silvopastoriles con *Tithonia diversifolia*. In J. Chará, P. Peri, R. J. E. Murgueitio, & K. Castaño (Eds.), *Sistemas silvopastoriles: Aportes a los objetivos de desarrollo sostenible* (pp. 219–228). CIPAV.



Cardona-Iglesias, J., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2017b). Efecto sobre la fermentación in vitro de mezclas de *Tithonia diversifolia*, *Cenchrus clandestinum* y grasas poliinsaturadas. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 405–426. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.25697>

Cardona-Iglesias, J., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2019a). Consumo y productividad en vacas Holstein pastoreando un sistema silvopastoril vs monocultivo de kikuyo y suplementadas con grasas insaturadas. *Revista Científica FVC-LUZ*, 29(1), 20–33.

Cardona-Iglesias, J., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2019b). Estimación de metano en vacas pastoreando sistemas silvopastoriles con *Tithonia diversifolia* y suplementadas con grasas poliinsaturadas. *Revista Científica FVC-LUZ*, 29(2), 107–118.

Castaño-Reyes, G., Parrado-Barbosa, A., & Molina-Ochoa, J. (2017). Diseño y validación de un modelo para la evaluación de la calidad de la asistencia técnica agropecuaria en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), 387–399. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.6324>

Chagas, D., Barbosa, R., Da Silva, V., Gobbo, L., Gasparotoc, T., Campanellic, A., Faccioli, L., & Batista, F. (2011). Chlorogenic acids from *Tithonia diversifolia* demonstrate better anti-inflammatory effect than indomethacin and its sesquiterpene lactones... *Ethnopharmacology*, 136, 355–362.

Correa-Orozco, A., & Uribe-Velásquez, L. (2010). Sistema de información científica la condición corporal como herramienta para pronosticar el potencial reproductivo en hembras bovinas de carne. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 63(2), 5607–5619.

De la Ossa, J., Pérez-Cordero, A., & Montes-Vergara, D. (2018). El programa de zootecnia: Retos de investigación e innovación para Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 10(2), 109–110. <https://doi.org/10.24188/recia.v10.n2.2018.647>

DeClerck, J., Wade, Z., Reeves, N., Miller, M., Johnson, B., Ducharme, G., & Rathmann, R. (2020). Influence of *Megasphaera elsdenii* and feeding strategies on feedlot performance, compositional growth, and carcass parameters of early weaned, beef calves. *Translational Animal Science*, 4(2), 1–13. <https://doi.org/10.1093/tas/txaa031>

Echavarría, J., Villamizar, M., Restrepo, S., & Hernández, J. (2018). La calidad de vida en el sector agropecuario colombiano: una mirada a la población rural. In J. Echavarría,

M. Villamizar, & S. Restrepo (Eds.), *Superando barreras: El impacto del crédito agrario en Colombia* (pp. 73–91). Banco de la República.

Elsabaawy, E., & Gad, S.(2021). Lipids in Ruminant Nutrition and Its Effect on Human Health. In S. Abd El-Kader & B. Mohammad El-Basioni (Eds.), *Precision Agriculture Technologies for Food Security and Sustainability* (1st ed., pp. 344–467). National Research Centr.

Ferlay, A., Bernard, L., Meynadier, A., & Malpuech-Brugère, C. (2017). Production of trans and conjugated fatty acids in dairy ruminants and their putative effects on human health: A review. *Biochimie*, 141, 107–120. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2017.08.006>

Gallego, L. (2016). *Evaluación agronómica y análisis productivo del botón de oro (Tithonia diversifolia Hemsl. A Gray) como suplemento alimenticio de vacas lecheras en trópico alto* [Universidad de Antioquia]. <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/6113>

Gallego, L., Mahecha, L., & Angulo, J. (2017a). Calidad nutricional de Tithonia diversifolia Hemsl. A Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 213–222. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21671>

Gallego, L., Mahecha, L., & Angulo, J. (2017b). Producción, calidad de leche y beneficio:costo de suplementar vacas holstein con Tithonia diversifolia. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 357. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.25945>

Guatusmal-Gelpud, C., Escobar-Pachajoa, L., Meneses-Buitrago, D., Cardona-Iglesias, J., & Castro-Rincón, E. (2020). Producción y calidad de Tithonia diversifolia y Sambucus nigra en trópico altoandino colombiano. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 193–208. <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.36677>

Hall, J. B. (2013). Nutritional development and the target weight debate. *Vet Clin Food Anim*, 29, 537–554. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.1016/j.cvfa.2013.07.015>

Ku Vera, J., Briceño, E., Ruiz, A., Mayo, R., Ayala, A., Aguilar, C., Solorio, F., & Ramírez, L. (2014). Manipulación del metabolismo energético de los rumiantes en los trópicos: opciones para mejorar la producción y la calidad de la carne y leche. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(1), 43–53.

Londoño, J. (2017). *Evaluación agronómica de un sistema silvopastoril intensivo de ramoneo y respuesta productiva de hembras de levante de doble propósito en el SENA - CRNR La Salada*. [Tesis de Maestría, Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional- Universidad de Antioquia.



Londoño, J., Barragán, W., Muñoz, M., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2020). Evaluación antimicrobiana de extractos obtenidos a partir de *Tithonia Diversifolia* (Hemsl.) A. Gray con uso potencial en la industria lechera. *Revista Investigaciones Andina*, 22(40), 215–224. <https://revia.areandina.edu.co/index.php/IA/article/view/1596>

Londoño, J., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2019). Desempeño agronómico y valor nutritivo de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A Gray para la alimentación de bovinos. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 11(1), 1–14. <https://doi.org/10.24188/recia.v0.n0.2019.693>

López, O., Sánchez, T., Iglesias, J., Lamela, L., Soca, M., Arece, J., & Milera, M. (2017). Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 83–95.

Mahecha-Ledesma, L., Angulo-Arizala, J., & Barragán-Hernández, W. (2017). Calidad nutricional, dinámica fermentativa y producción de metano de arreglos silvopastoriles. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 371–387. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.22750>

Mahecha-Ledesma, L., Corral, F., Murgueitio, M., Sánchez, C., Angulo, J., Olivera, M., Solorio, B., Zapata, A., Cuartas, C., Naranjo, J., Rodríguez, C., Ramírez, J., Mejía, A., Xóchitl, M., & Murgueitio, E. (2012). SSPI producen elevada cantidad de carne de alta calidad en Colombia y México. *Carta Fedegán*, 129, 60–72.

Mahecha-Ledesma, L., Durán, C., & Rosales, M. (2000). Análisis de la relación planta-animal desde el punto de vista nutricional en un sistema silvopastoril de *cynodon plectostachyus*, *leucaena leucocephala* y *prosopis juliflora* en el valle del cauca. *Acta Agronómica*, 50(1–2), 59–70. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/47911

Mahecha-Ledesma, L., Durán, C., Rosales, M., Molina, C., & Molina, E. (2000). Consumo de pasto estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) y *leucaena* (*Leucaena leucocephala*) en un sistema silvopastoril. *Pasturas Tropicales*, 22(1), 26–30.

Mahecha-Ledesma, L., Escobar, J., Suárez, J., & Restrepo, L. (2007). *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray (botón de oro) como suplemento forrajero de vacas F1 (Holstein por Cebú). *Livestock Research for Rural Development*, 19(2). <http://www.lrrd.org/lrrd19/2/mahe19016.htm>

Mahecha, L., & Angulo, J. (2012). Nutrient Management in Silvopastoral Systems for Economically and Environmentally Sustainable Cattle Production: A Case Study

from Colombia. In *Soil Fertility Improvement and Integrated Nutrient Management - A Global Perspective* (pp. 201–216). <https://doi.org/10.5772/29476>

Mahecha, L., Angulo, J., Salazar, B., Cerón, M., Gallo, J., Molina, C., Molina, E., Suárez, J., Lopera, J., & Olivera, M. (2008). Supplementation with bypass fat in silvopastoral systems diminishes the ratio of milk saturated/unsaturated fatty acids. *Tropical Animal Health and Production*, 40, 209–216. <https://doi.org/10.1007/s11250-007-9082-5>

Mahecha, L., Dannenberger, D., Nuernberg, K., Nuernberg, G., Hagemann, E., & Martin, J. (2010). Relationship between lipid peroxidation and antioxidant status in the muscle of german holstein bulls fed n-3 and n-6 PUFA-enriched diets. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(14), 8407–8413. <https://doi.org/10.1021/jf101218b>

Mahecha, L., Londoño, J., & Angulo, J. (2021). Agronomic and Nutritional Assessment of an Intensive Silvopastoral System: *Tithonia Diversifolia*, *Sambucus nigra*, *Cynodon nemfuensis*, and *Urochloa plantaginea*. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences*, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s40011-021-01282-7>

Mahecha, L., Nuernberg, K., Nuernberg, G., Ender, K., Hagemann, E., & Dannenberger, D. (2009). Effects of diet and storage on fatty acid profile, micronutrients and quality of muscle from German Simmental bulls. *Meat Science*, 82(3), 365–371. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.02.005>

Mauricio, R., Sandin, R., Murgueitio, E., Chará, J., & Flores, M. (2019). Silvopastoral Systems in Latin America for Biodiversity, Environmental, and Socioeconomic Improvements. In *Agroecosystem Diversity* (1st ed., pp. 287–297). Elsevier B.V.

Mejía-Díaz, E., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2017a). Consumo de materia seca en un sistema silvopastoril de *Tithonia diversifolia* en trópico alto. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 389–403. <https://doi.org/10.15517/ma.y28i2.23561>

Mejía-Díaz, E., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2017b). Productividad de un sistema silvopastoril con ramoneo de *Tithonia diversifolia* en trópico alto. In J. Chará, P. Peri, J. Rivera, E. Murgueitio, & K. Castaño (Eds.), *Sistemas silvopastoriles: Aportes a los objetivos de desarrollo sostenible* (pp. 399–405). CIPAV.

Mejía-Díaz, E., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2017c). *Tithonia diversifolia*: especie para ramoneo en sistemas silvopastoriles y métodos para estimar su consumo. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 289–302. <https://doi.org/10.15517/am.y28i1.22673>



Murgueitio, E., Barahona, R., Flores, M., Chará, J., & Rivera, J. (2016). Es posible enfrentar el cambio climático y producir más leche y carne con sistemas silvopastoriles intensivos. *Ceiba*, 54(1), 23–30. <https://doi.org/10.5377/ceiba.v54i1.2774>

Murgueitio, E., Uribe, F., Molina, C., Molina, E., Galindo, W., Chará, J., Flores, M., Giraldo, C., Cuartas, C., Naranjo, J., Solarte, L., & González, J. (2016). *Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles intensivos con leucaena* (E. Murgueitio, W. Galindo, J. Chará, & F. Uribe (eds.)). CIPAV. <http://www.cipav.org.co/emssil/SSPiLeucaena.pdf>

Navas, A. (2017). Conocimiento local y diseño participativo de sistemas silvopastoriles como estrategia de conectividad en paisajes ganaderos. *Rev. Med. Vet*, 34, 55–65. <https://doi.org/doi: http://dx.doi.org/10.19052/mv.4255>

Nepomuceno, D., Pires, A., Ferraz, M., Biehl, M., Gonçalves, J., Moreira, E., & Day, M. (2017). Effect of pre-partum dam supplementation, creep-feeding and post-weaning feedlot on age at puberty in Nellore heifers. *Livestock Science*, 195, 58–62. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.11.008>

Parra-Cortés, R., Magaña-Magaña, M., & Piñeiro-Vázquez, A. (2019). Intensificación sostenible de la ganadería bovina tropical basada en recursos locales: alternativa de mitigación ambiental para América Latina. Revisión Bibliográfica. *Informacion Técnica Económica Agraria*, 115(4), 342–359. <https://doi.org/10.12706/itea.2019.003>

Prieto-Manrique, E., Mahecha-Ledesma, L., Vargas-Sánchez, J., & Angulo-Arizala, J. (2018). The effect of sunflower seed oil supplementation on the milk fatty acid contents of cows fed leucaena in an intensive silvopastoral system. *Animal Feed Science and Technology*, 239, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.03.003>

Prieto-Manrique, E., Vargas-Sánchez, J., Angulo-Arizala, J., & Mahecha-Ledesma, L. (2016). Grasa y ácidos grasos en leche de vacas pastoreando, en cuatro sistemas de producción. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 19–42. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.22816>

Ramírez, J., Zambrano, D., Cmapuzano, J., Verdecia, D., E, C., Arceo, Y., Labrada, J., & Uvidia, H. (2017). El clima y su influencia en la producción de los pastos. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(6), 1–12. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63651420007%0ACómo>

Rivera, J., Cuartas, C., Naranjo, J., Tafur, O., Hurtado, E., Arenas, F., Chará, J., & Murgueitio, E. (2015). Efecto de la oferta y el consumo de *Tithonia diversifolia* en un sistema silvopastoril intensivo. *Livestock Research for Rural Development*, 27(10). <http://www.lrrd.org/lrrd27/10/rive27189.html>

Rodríguez I, Padilla C y Ojeda M. (2019). Características de la germinación de la semilla gámica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray y su comportamiento en condiciones de Vivero. *Livestock Research for Rural Development* 31 (5). <http://www.lrrd.org/lrrd31/5/idalma31069.html>

Ruiz, T., Febles, G., Galindo, J., Savón, L., Chongo, B., Torres, V., Cino, D., Alonso, J., Martínez, Y., Gutiérrez, D., Crespo, G., Mora, L., Scull, I., La O, O., González, J., Lok, S., González, N., & Zamora, A. (2014). *Tithonia diversifolia*, sus posibilidades en sistemas ganaderos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(1), 79–82.

Saavedra, S. (2016). *Fenología y fisiología de semillas de botón de oro Tithonia diversifolia (Hemsl.) Gray*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional.

Sarmiento, A. (2019). *Ganadería Colombiana Sostenible : resultados del proyecto en las regiones de Boyacá, Santander y el Piedemonte Orinocense*. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/14544/u728966.pdf?sequence=1>

Scollan, N., Dannenberger, D., Nuernberg, K., Richardson, I., Mackintosh, S., Hocquette, J., & Moloney, A. (2014). Enhancing the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Science*, 97(3), 384–394. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.02.015>

Scollan, N., Price, E., Morgan, S., Huws, S., & Shingfield, K. (2017). Can we improve the nutritional quality of meat? *Proceedings of the Nutrition Society*, 76(4), 603–618. <https://doi.org/10.1017/S0029665117001112>

Tapasco, J., Martínez, J., Calderón, S., Romero, G., Ordóñez, D., Álvarez, A., Sánchez, L., & Ludeña, C. (2015). *Impactos económicos del cambio climático en colombia: Sector ganadero*. 50. https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7186/Impactos_economicos_cambio_climatico_Colombia_Sector_Ganadero.pdf?sequence=1

Vasta, V., Daghio, M., Cappucci, A., Buccioni, A., Serra, A., Viti, C., & Mele, M. (2019). Plant polyphenols and rumen microbiota responsible for fatty acid biohydrogenation, fiber digestion, and methane emission: Experimental evidence and methodological approaches. *Journal of Dairy Science*, 102(5), 3781–3804. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14985>

Zepeda, R., Velasco, M., Toral, J., Hernández, A., & Martínez, J. (2016). Adopción de sistemas silvopastoriles y contexto sociocultural de los productores: apoyos y limitantes. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 7(4), 471–488. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v7i4.4282>



Zhao, G., Xi, Z., Chen, W., Li, X., Sun, L., & Sun, L. (2012). Chemical constituents from *Tithonia diversifolia* and their chemotaxonomic significance. *Biochemical Systematics and Ecology*, 44, 250–254. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2012.06.019>