

SISTEMAS SILVOPASTORILES PARA MANEJO SOSTENIBLE DE LA ALIMENTACIÓN DE RUMIANTES BAJO PASTOREO EN EL TROPICO

[SILVOPASTORAL SYSTEMS FOR SUSTAINABLE MANAGEMENT OF RUMIANT FEEDING UNDER GRAZING IN TROPICAL AREA]

Epigmenio Castillo-Gallegos¹, Jesús Jarillo-Rodríguez^{2§}

¹Profesores Asociado y Titulas. Universidad Nacional Autonoma de México. Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia. Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (UNAM-FMVZ-CEIEGT), CP 93650, Tlapacoyan, Veracruz, México. [§]Autor para correspondencia: (jjarillo@unam.mx).

RESUMEN

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son una opción tecnológica sostenible, que investigaciones recientes los impulsan para mejora de la producción pecuaria, por su influencia sobre el comportamiento del ganado, incremento de la biodiversidad, potencial productivo y valor nutritivo de las plantas presentes en los potreros. Sin embargo, existen aspectos poco estudiados como biodiversidad, uso y promoción de las especies potencialmente útiles; la distribución geográfica de las especies vegetales de acuerdo a las condiciones climáticas y el potencial de desarrollo de las mismas y estrategias que fomenten su crecimiento. En la realidad, las especies forestales que se promueven y se distribuyen a productores no consideran con veracidad clima, suelo, densidad de plantación y/o disposición de plantas en el terreno. El uso de especies maderables nativas o naturalizadas a densidades mayores (400 árboles/ha) son una opción para buscar crecimiento rápido, caída de ramas basales y dispuestos en franjas o callejones en potreros, tienden a no disminuir la producción de MS del pasto en un 30 a 50 %, mejoran la calidad nutritiva de la materia seca (MS) del pasto y genera ingresos económicos por concepto de madera más los beneficios para el suelo, el ambiente y el animal. La finalidad del presente escrito es puntualizar la importancia de la asociación pasto-árboles como SSP sostenibles en lo que a producción forrajera, desempeño productivo, confort animal y beneficios al ambiente se refiere, considerando las especies herbáceas, arbustivas y arbóreas nativas, naturalizadas en cada región.

Palabras claves: Árboles nativos, asociación árboles-pasto, biodiversidad, confort animal, ganadería sostenible.

ABSTRACT

Silvopastoral systems emerge as a sustainable technological option, that recent research promotes for livestock production, due to their influence on the behavior of cattle, productive potential and nutritional value of the plants present in the pastures. However, there are little-studied aspects such as biodiversity, use and promotion of potentially useful species; the geographical distribution of the species according to the climatic zones of the country and the development potential of the plant species and strategies that promote their growth. In reality, the forest species that are promoted and distributed to producers do not have a specific destination that more accurately considers climate and soil, planting density and / or plant arrangement on the ground. The use of native or naturalized timber species at higher densities (more than 400 trees / ha) to seek rapid growth, fall of basal branches; arranged in strips or alleys in paddocks, it tends to reduce the dry matter production of the pasture by 30 to 50%, but improves the nutritional quality of the dry matter of the pasture and would generate economic income from wood plus benefits for the soil, the environment and the animal. The purpose of this work is to mention the importance of the grass-trees association as sustainable silvopastoral systems in terms of forage production, productive performance, animal comfort and benefits to the environment, considering naturalized or native herbaceous, shrub and arboreal species in each region.

Index word: Native trees, tree-grass association, biodiversity, animal comfort, sustainable livestock.

INTRODUCCIÓN

Los principales retos que tiene que enfrentar la agricultura mundial, son los de satisfacer la demanda de alimentos y mantener niveles sostenibles de los recursos naturales (Pérez y Landeros, 2009). Los sistemas de producción bajo pastoreo son base esencial de las necesidades alimentarias y de la competitividad que impone la demanda actual. En Latinoamérica, la producción de carne y leche en pastoreo depende en gran medida, de la disponibilidad de gramíneas para regiones generalmente no aptas para uso agrícola intensivo (Quero *et al.*, 2007).

México no es la excepción, sin embargo, aún cuando el pastoreo es la forma más económica de alimentar bovinos (Shallo *et al.*, 2004). Los sistemas de producción animal en el trópico, se caracterizan por baja productividad, debida principalmente al uso y manejo deficiente de forrajes, entre otros. Asimismo, la ganadería depende de pasturas basadas en monocultivo, que en su gran mayoría se encuentran en procesos moderados a severos de degradación, poco productivos y de baja calidad nutritiva. Lo anterior, obliga a los productores al uso de granos y alimentos, que incrementan los costos de producción. Por lo tanto, los ganaderos buscan nuevas áreas para extender las zonas de pastoreo, principales causas de la deforestación.

Los SSP surgen como una opción tecnológica sostenible para la producción pecuaria. En SSP los árboles, las plantas herbáceas y los animales interactúan con un manejo integral y racional, para mitigar los efectos adversos del clima que inciden sobre el comportamiento del ganado y la utilización de los potreros (Bergerón y Lewis, 2002). El cambio climático hace que los sistemas agropecuarios sean más vulnerables. El aumento en la temperatura, lluvias erráticas frecuentes y la reducción del agua del suelo podrían conducir a una sustitución de las áreas tropicales por sabanas poco productivas en regiones áridas en la mayor parte del centro y sur de México.

Es reconocido que las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) por la quema de combustibles fósiles son el factor que más contribuye al cambio climático. Cada año entre 1.6 y 2.4 Pg de carbono se libera a la atmósfera debido a la deforestación en los trópicos (Fearnside, 2000). Esto implica que la deforestación tropical contribuye con el 20 al 29 % de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (Watson *et al.*, 2000). Una de las opciones para mitigar el efecto de las emisiones de CO₂ es la reforestación, los árboles pueden secuestrar grandes cantidades de carbono. Sin embargo, esto debe llevarse a cabo sin poner en riesgo la seguridad alimentaria, ni la biodiversidad vegetal y animal. Ante esta problemática, una alternativa es el establecimiento de árboles, arbustos o plantas similares en los terrenos de pastoreo, como sistemas agro y silvopastoriles lo que ha sido una práctica antigua y común en muchas partes del mundo y que se revalora como estrategia para suplir las deficiencias de los sistemas de producción “modernos” (Torres, 2007).

DESARROLLO

Los SSP puede mitigar y adaptar el cambio climático en la medida que logren expandirse. El SSP produce 12 veces más carne que el pastoreo extensivo y 4.5 veces más que los pastos mejorados sin árboles, pero las emisiones de metano (CH₄) no se incrementan en igual proporción siendo 6.8 y 2.8 veces mayores que en el SSP intensivo, respectivamente, razón por la cual las emisiones del mismo gas por tonelada de carne es 1.8 veces menor en el SSP intensivo que en el pastoreo extensivo (Muergueitio *et al.*, 2014). Según González *et al.* (2013) para producir 10,000 toneladas de carne se requieren casi 150,000 has de tierra en pastoreo extensivo, que además tienen un balance negativo de emisiones de CO₂ eq (más de 48000 ton). Asimismo, para producir la misma cantidad de carne con SSP intensivo se requieren tan solo algo más de 12,000 has que además dan un balance de emisiones de GEI positivo en más de tres mil toneladas reducidas de CO₂ eq.

Los SSP favorecen porque mantienen la humedad del suelo, reducen las altas temperaturas ambientales, mejoran productividad y calidad de los forrajes, además de reducir la estacionalidad de la producción de carne y leche. En condiciones de sequía, los SSP reducen la temperatura promedio anual (2 a 3 °C) y en los días más calientes las diferencias llegan a ser hasta de 13°C; incrementan la humedad relativa en las regiones secas (entre 10 y 20%) y reducen la evapotranspiración (1.8 mm/día) (Murgueitio *et al.*, 2014).

Incorporación de árboles y arbustos en pastizales

El SSP con altas densidades de arbustos forrajeros como *Leucaena leucocephala* Lam. de Wit u otros como botón de oro (*Thitonia diversifolia* Hemsl.), asociados a pastos mejorados y árboles maderables nativos o introducidos bajo modelos de pastoreo rotacional intensivo con cercas eléctricas y agua, cual permite alcanzar cargas animales y alta producción natural de leche y carne (Murgueitio *et al.*, 2009). Con una sombra ligera el porcentaje de proteína (Eriksen y Whitney, 1981; Santiago-Hernández *et al.*, 2015) y el rendimiento de forraje se incrementa, en el caso de arbustivas forrajeras, y mejora la digestibilidad; debido a que los árboles disminuyen la radiación solar, reducen las pérdidas de agua y mejoran las propiedades fisicoquímicas y bióticas del suelo (Sánchez, 1999).

La incorporación de árboles y arbustos en las pasturas naturales o introducidas, pueden incluir cercos vivos, barreras rompeviento, árboles medicinales, ornamentales (Negreros, 1993) y bancos de proteína, donde generalmente se incluyen leguminosas, como árboles y arbustos para ramoneo (FAO 1992; Mahecha, 2002). El manejo tradicional de pastoreo es menos rentable y con mayor daño al ambiente. Los SSP pueden acumular carbono, favorecen el incremento de la biodiversidad vegetal, disminuyen la erosión de los suelos y mejoran la infiltración del agua (López *et al.*, 1999; Ibrahim *et al.*, 2001).

La factibilidad de inversión es mayor en SSP (Gobbi, 2003). Actualmente, reducir costos de producción es un objetivo de supervivencia para lechería tropical y por ello, se buscan sistemas más eficientes (Zarate *et al.*, 2010). El incremento de las áreas de pastoreo (Guevara *et al.*, 2013), se genera la pérdida acelerada de fertilidad de los suelos, en consecuencia, productividad animal (Lemus, 2008) e inestabilidad económica, por la baja diversidad de productos generados (Ávila *et al.*, 2001). Mientras que la presencia de los árboles en los SSP toma mayor relevancia por su potencial productivo y valor nutritivo del forraje, su disponibilidad en los períodos de escasez de forrajes (Rosales, 1999, Radrizzani y Renolfi, 2006).

Los árboles dispersos en los potreros proveen múltiples productos y servicios (Ramírez *et al.*, 2010), pero la importancia es dar sombra a los animales, así como obtener leña y madera. Sin embargo, los ganaderos consideran que afectan la productividad de los pastos, causando pisoteo y compactación del suelo alrededor de los árboles y las malezas aumentan en las zonas de descanso. Sin embargo, algunas especies forrajeras crecen mejor bajo los árboles (Cajas y Sinclair, 2001). Los ganaderos también señalan la necesidad de poda de árboles por el costo que involucra (Martínez-Encino, 2013).

Los SSP y producción animal

Los SSP, mejoran el ambiente dentro de los sitios de pastoreo (Radrizzani y Renolfi. 2004). Además, los árboles proporcionan sombra en los pastizales, minimizan las temperaturas extremas en los potreros, disminuye la humedad relativa y mantienen más fresca el agua para beber (Mahecha *et al.*, 1999), condiciones que mejoran confort animal al reducir el estrés por temperatura y por lo tanto un menor gasto energético y mejoran la actividad productiva y reproductiva del animal (López *et al.*, 2009). Las ventajas de SSP se identifica a través de estudios científicos y el conocimiento de los productores (Villanueva *et al.*, 2003). Aunque su aplicación no es generalizada, ha crecido el interés por dichos sistemas, por la diversidad

de productos generados en las fincas y mejora de productividad animal, especialmente durante la época de seca (Ibrahim y Harvey, 2003).

SSP con *Leucaena* proporciona un forraje de calidad y económico. El uso de *Leucaena* en SSP puede reducir el concentrado en la dieta de vacas lecheras en el trópico (Peniche-González *et al.*, 2014) y proporcionar servicios ambientales (Orwa *et al.*, 2009; Ferguson, 2013). Sin embargo, aún cuando *Leucaena* tiene una alta concentración de proteína degradable en rumen, 80% según Eb-Pareja (2015), tiene una baja concentración de energía metabolizable (Tinoco-Magaña *et al.*, 2012) lo que afectaría la eficiencia de utilización de nitrógeno (N) por los microorganismos del rumen (Poppi y McLennan, 1995). Al respecto, Bottini-Luzardo *et al.*, (2016), desarrollaron un experimento (Figura 1) cuyo objetivo fue evaluar la producción de leche, estimar el consumo de proteína cruda (PC) y determinar la concentración de N ureico en sangre durante el posparto temprano de vacas cruzadas, pastando *Leucaena leucocephala* en un SSP y monocultivo con concentrado. No encontraron diferencias ($P>0.05$) en la producción de leche entre sistemas. La concentración de N ureico en sangre fue de 19.1 mg/dL para vacas en silvopastoril y 15.3 mg/dL en monocultivo (Figura 1; $P<0.05$). Concluyeron que el consumo de leucaena y sorgo en un SSP bajo irrigación fue suficiente para sustituir el concentrado en la dieta. Sin embargo, las concentraciones de N ureico en sangre en el SSP sugieren una menor eficiencia de utilización de N. Por lo que podría restringirse el consumo de leucaena como una medida para mejorar la eficiencia de su uso.

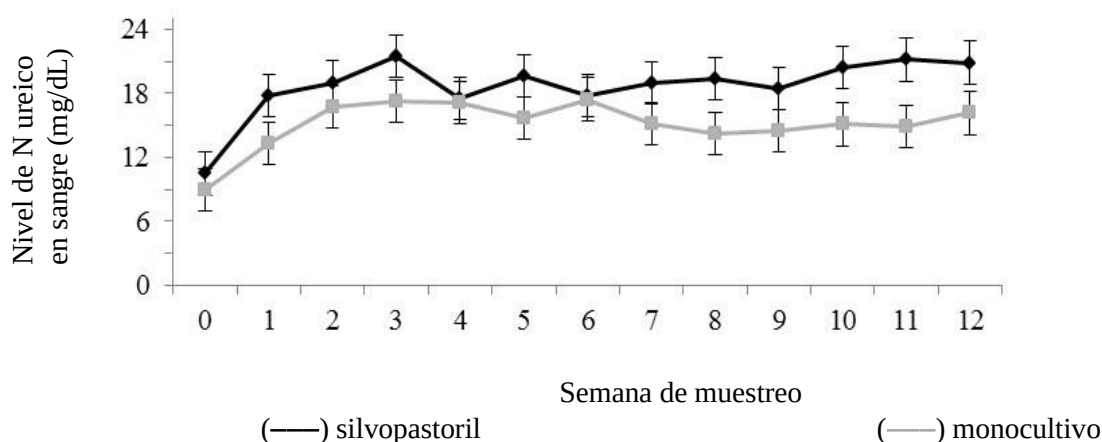


Figura 1. Nitrógeno ureico en sangres de vacas cruzadas pastando en un sistema silvopastoril de *L. leucocephala* y *C. nlemfuensis* y un monocultivo de *C. nlemfuensis*. Barras verticales indican desviación estándar (Tomado de Bottini- Luzardo *et al.*, 2016).

Leucaena puede ser una alternativa como componente del sistema, sin embargo, en suelos ácidos su desarrollo es bajo y tenemos que recurrir a alternativas como *Cratylia argentea*, que se adapta a suelos ácidos y a periodos de sequía de 3 o 4 meses. Al respecto, Valles *et al.* (2012), evaluaron la relación en pastoreo en SSP, entre la concentración de urea en suero sanguíneo y la ganancia diaria de peso en novillonas F1 Holstein x cebú al comparar dos pasturas: 1) silvopastoril: *Cratylia argentea* + *Brachiaria brizantha* Toledo, y 2) Monocultivo: *Brachiaria brizantha* Toledo solo. La concentración de urea en sangre fue 11.01 ± 0.35 (SSP) y 7.87 ± 0.35 (monocultivo) mg dL⁻¹. La ganancia diaria de peso en SSP y monocultivo promedió 839 ± 258 y 580 ± 278 g día⁻¹, respectivamente. En conclusión, la ganancia diaria de peso puede exceder 800 g día⁻¹ cuando pastorean en SSP. Los niveles de urea en sangre nunca alcanzaron niveles tóxicos de acuerdo a reportes de la literatura (> 20 mg dL⁻¹). Sin embargo, al igual que con lo reportado por Bottini-

Luzardo *et al.* (2016) los niveles de urea en sangre sugieren una baja eficiencia de utilización de N de la dieta.

No obstante, para conocer las relaciones de competencia en un SSP (Hernández, 2018) estudió la relación en la biomasa forrajera de *L. leucaena* y *Digitaria eriantha* a cuatro densidades de árboles (5000, 15000, 25000 y 35000 plantas ha⁻¹). La biomasa total se mantiene similar entre densidades (2561 kg MS ha⁻¹), los árboles produjeron más biomasa (1338 kg MS ha⁻¹; p<0.05) con 35000 árboles ha⁻¹. Sin embargo, el rendimiento total (gramínea más leguminosa) tendió a ser mejor con la densidad de 15000 árboles ha⁻¹ alcanzando una producción 2866 Kg MS ha⁻¹ con una contribución de 63 % de gramínea, y 36 % en árboles lo que permitió que en 15000 árboles ha⁻¹ las plantas aprovecharon eficientemente los recursos del medio con efectos favorables tanto en la gramínea como en la leguminosa.

Beneficio de los árboles sobre el estrés por calor en el ganado bovino

Los árboles en los potreros son esenciales para aliviar el estrés calórico en animales (Betancourt *et al.*, 2003). Probablemente el efecto más importante sea la disminución de las temperaturas extremas de frío y de calor (Radrizzani y Renolfi, 2004) que benefician al animal. Las temperaturas mayores a 35 °C, afectan el sistema de termorregulación de los animales, reducen el consumo de alimento y la actividad de búsqueda del mismo, para disminuir la carga térmica (Hall, 2000), lo que disminuye la eficiencia reproductiva, la ganancia de peso, la producción de leche y aumenta la tasa de mortalidad, (Radrizzani y Renolfi, 2006).

El ganado tiene un rango de temperatura dentro del cual mantiene su estado metabólico (16 a 30 °C) y cuando el animal supera el límite superior de la zona termo neutral, la temperatura corporal normal empieza a alterar la tasa metabólica basal (Kulicov y Rudnev, 1987). Y se desencadenan mecanismos fisiológicos que afectan el metabolismo normal del animal y su capacidad productiva y reproductiva (Cardozo *et al.*, 2010). Cuando la combinación de los factores ambientales adversos y de manejo persisten por períodos prolongados, la habilidad del animal de termo-regularse se reduce, por lo que se genera estrés (González, 2006), lo que influye indirectamente sobre el comportamiento del ganado y la utilización de los potreros (Bergerón y Lewis, 2002), a consecuencia de esto, los animales cambian sus patrones de comportamiento y pueden mover sus tiempos para el pastoreo a horas de la noche cuando las temperaturas son más frescas (De Elia, 2002, Jarillo-Rodríguez *et al.*, 2008).

Especies de árboles *ad hoc* para el sistema silvopastoril

Actualmente, el listado de árboles maderables de interés comercial en las regiones tropicales es limitado y las especies mayormente difundidas no se adaptan a todas las condiciones agroecológicas de las distintas regiones. También se requieren estudios de factibilidad económica y financiera actualizados para diferentes regiones; estudios de mercado y estrategias de comercialización a nivel nacional e internacional de los diferentes productos asociados a obtener; biodiversidad, uso y promoción de las especies potencialmente útiles; cuantificación y valoración adecuada de servicios ambientales tales como la recarga de acuíferos, también llamados servicios ecosistémicos (CONAFOR, 2013). Otros aspectos que deben revisarse son: La especie de árbol a utilizar en SSP con base en condiciones edafo-climáticas de cada región; el marco de plantación y la disposición de los árboles en el terreno que más favorezca el desarrollo del estrato herbáceo (pastura); la estrategia de establecimiento y fase inicial de crecimiento del árbol.

Podría considerarse que las especies que pueden ser utilizadas como árboles de SSP, deben cubrir un mínimo de requisitos para que beneficien mayormente a los sistemas. Por ejemplo, *Melia azedarach* es un árbol multipropósito de rápido crecimiento, que produce y genera ingresos a través de la venta de madera a mediano plazo. Otras formas de utilizar estos recursos son al obtener madera para las cercas, horcones, postes, leña y otros productos de autoconsumo. Adicionalmente se proporciona de forma indirecta alimento

y hábitat para la vida silvestre, debido a que atrae una diversidad de insectos y aves para saciar sus necesidades y aprovechar el albergue que provee el sistema (Naranjo 2000; Andrade *et al.*, 2008).

Un ejemplo de especies adaptadas a las condiciones climáticas regionales y a SSP

Dados los costos de manejo tanto de los árboles y de las gramíneas, así como también del manejo animal, surge la necesidad de evaluar el comportamiento en cuanto a producción y calidad de las gramíneas bajo árboles endémicos de la región ya que en SSP puede presentarse interacciones positivas o negativas que dependen de las especies seleccionadas, densidad del componente arbóreo, arreglo espacial y el manejo que se aplica (Giraldo y Vélez, 1993). Una propuesta es analizar especies arbóreas presentes o locales en cada región donde se establezca el SSP. El análisis debe enfocarse a aspectos como adaptación a suelo y clima, fácil y rápida propagación, y rápido crecimiento. Con especies locales se mantiene la biodiversidad, no hay perturbación por la introducción de nuevas especies a la zona, son de amplio conocimiento por el productor en sus usos y aplicaciones.

Dos ejemplos de especies arbóreas adaptadas para un clima sub-cálido húmedo son *M. azederach* (piocho) y *Cinnamomun leptophyllum* (aguacate naco). La primera es una especie naturalizada y la segunda es nativa. El piocho se cultiva y permanece naturalmente en varias partes del mundo. La calidad de su madera es semejante a la de pino (Bárceñas y Ordoñez, 2008). Aunado a la baja presencia de follaje y a su característica de caducifolio, se convierte en una especie potencial como componente de sistemas agro y silvopastoriles. Por otro lado, sus frutos, flores, hojas, y corteza poseen propiedades insecticidas (Chiffelle *et al.*, 2009). El aguacate naco pertenece a la familia *Lauraceae* y al género *Cinnamomum* y crece en el sureste de México, en Veracruz (Lorea-Hernández, 1997).

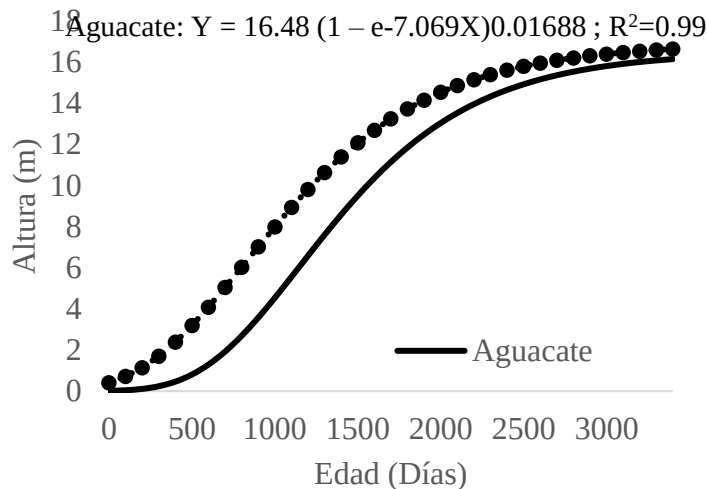


Figura 2. Crecimiento de piocho y aguacate asociados de la siembra a 8 años de edad, ecuación del modelo de Gompertz y R^2 ajustada en un clima semicálido al pie de la sierra madre oriental (845 msnm) en Tlapacoyan, Veracruz. (La n de los 4 muestreos realizados en días fue Aguacate=100, 138, 137, 666 y 448, respectivamente. Piocho = 100, 152, 152, 719 y 319, respectivamente).

En la Figura 2 se observa el crecimiento de aguacate asociado con piocho en un marco de plantación de un surco de piocho a 2.5 entre árboles y al lado (4 m) un surco de aguacate a 4 m entre árboles. El crecimiento del aguacate (16.04 ± 1.65 m) y del piocho (16.6 ± 1.72 m) a ocho años de edad, indica crecimiento similar entre especies por competencia de luz. Mora-Rangel (2013) evaluó el crecimiento de piocho y reportó una altura de 5.2 ± 1.82 m, a un año, lo que indica un crecimiento exponencial en el primer

año de crecimiento. Mientras que, en aguacate, Andrade (2013) mostró un crecimiento promedio de 1.84 ± 0.46 m, en un año, lo que generó una tasa de crecimiento diaria de 0.3 cm/día. El crecimiento inicial que muestra aguacate es lento en comparación con piocho, no obstante, la velocidad de crecimiento se eleva posteriormente, esto podría relacionarse con la poca competencia inicial que le puede generar piocho y que posteriormente se incrementa, con un crecimiento de tendencia sigmoideal (Figura 2). Acelerar el crecimiento de árboles por competencia en alta densidad, favorece sustancialmente el establecimiento, manejo y su relativo inmediato uso del terreno con animales.

El modelo matemático que describe el crecimiento de piocho y aguacate de la siembra a 8 años de edad es el de Gompertz, es un modelo que muestra un crecimiento lento al inicio y al final, pero su desarrollo intermedio se observa rápido, cuya ecuación se cita en Figura 2. Santiago-Hernández *et al.* (2015), estimaron el efecto de la sombra de piocho sobre la producción de biomasa, calidad nutritiva y la fisiología de *Megathyrsus maximus* cv. Tanzania y Mombaza y los híbridos de *Urochloa* Oaxaca y Yacaré. Durante lluvias (agosto de 2013) y nortes (febrero de 2014), en sombra de 1200 árboles/ha de piocho y a pleno sol. En sombra, la biomasa disminuyó 49.2% ($P < 0.05$) en lluvias ($4,487 \pm 2,672$ en sol vs. $2,208 \pm 970$ bajo sombra). Mientras que, en nortes, los valores fueron similares ($P > 0.05$) bajo sol y sombra (703 ± 340 vs. 623 ± 124 kg MS/ha, respectivamente). Aunque bajo sombra las hojas contenían más PC ($16.8 \pm 2.1\%$; $P < 0.05$), menos fibra detergente ácida ($30.0 \pm 6.7\%$) y más digestibles (65.7% ; $P < 0.05$).

La producción de madera con piocho tiene amplio potencial económico a mediano-largo plazo (10 a 15 años después de su plantación; Evans y Rombold, 1984), en ocasiones reemplaza a la madera de cedro (Evans y Rombold, 1984). En México, no se encuentra información de producción o de comercialización por la CONAFOR (2016). Sin embargo, en áreas del estado de Veracruz, los carpinteros que tradicionalmente trabajan muebles de cedro, sustituyen el cedro por madera de piocho, debido a que el color y su densidad son similares.

Sombra arbórea y productividad de la gramínea

La producción forrajera de los SSP está regulada por interacciones entre el estrato arbóreo y herbáceo. La fracción de luz incidente sobre la cubierta vegetal del suelo depende de la radiación reflejada y la transmitida por el dosel de los árboles, lo cual genera competencia entre estratos. De esta manera, a mayor masa forestal mayor impacto por competencia sobre la gramínea (Bahamonde *et al.*, 2012). Sin embargo, las interacciones entre los cuatro principales componentes (árboles, pasturas, animales y suelo) de SSP pueden ser manejados por los productores (Mead, 2009). La sombra arbórea *per se* incide positivamente en el comportamiento animal, por mayor termorregulación y consumo de forraje, mejor condición corporal, producción de leche, mejor respuesta inmunológicas a enfermedades y mejoras en el comportamiento reproductivo del hato, entre otros (Pérez, 2012), que reflejan mayor productividad de los animales (Obispo *et al.*, 2013).

La producción del pastizal, con relación a la sombra en el potrero, se afecta significativamente. Obispo *et al.* (2013) evaluó diferentes niveles de sombreado (medio y alto) y encontró una reducción del 33% en el rendimiento de MS con respecto a los potreros de baja y cero sombra. Esto obedece a factores como interacción árbol-gramínea (Scholes y Archer 1997), condiciones de suelo y clima, grado de modificación del microclima y micronutrientes del suelo (Wilson, 1998), y se relaciona con la cantidad y calidad de luz sobre el pastizal y el grado de tolerancia de la gramínea a la sombra (Santiago-Hernández *et al.*, 2015).

La PC del pasto con niveles de sombra baja y media aumenta en 4% (Hernández y Guenni, 2008), incrementos similares de PC relacionados con el nivel de sombra fueron observados también por Santiago-Hernández *et al.* (2015). Estos cambios en PC de los forrajes bajo sombra se relaciona con factores que ocurren bajo del dosel arbóreo como cambios en la temperatura, humedad del suelo, contenido de materia orgánica y de la actividad de la biota edáfica presente (Wilson, 1996), que incrementan la disponibilidad de

los nutrientes en el suelo para las gramíneas bajo sombra lo que se traduce en mayores niveles de nitrógeno en la planta, disminución del contenido de fibra cruda y por ende, un mejoramiento en la digestibilidad de la MS (Obispo *et al.*, 2013; Santiago-Hernández *et al.*, 2015). La temperatura ambiental ha sido considerada como el factor que ejerce mayor influencia sobre la calidad del forraje. La temperatura hace que se incremente el contenido de lignina en la pared celular y promueve un incremento de la actividad metabólica con elevación de la tasa de crecimiento, lo cual disminuye el pool de metabolitos en el contenido celular (Van Soest, 1994), principalmente en las plantas C4. Sin embargo, la incidencia lumínica parece ejercer acción directa sobre el metabolismo a través de la fotosíntesis con la generación de carbohidratos, especialmente glucosa (Van Soest, 1994), con incrementos de la producción de biomasa, pero igualmente aumenta la relación tallo-hoja en forrajes expuestos a plena luz solar, lo que reduce la digestibilidad de la pastura (Da Silva *et al.*, 1987). El incremento de la digestibilidad *in vitro* de la MS del pastizal en los potreros sombreados se traduce en mejoras de la calidad del forraje. La digestibilidad *in vitro* de la MS pudiera deberse a los menores contenidos de fibra detergente ácida, fracción que contiene los componentes menos digestibles del forraje (Van Soest, 1994) y a mayores contenidos de PC por efecto del sombreado (Obispo *et al.* 2013).

Al respecto, Santiago-Hernández *et al.* (2015) encontraron una reducción del 56.1% en la producción de MS a pleno sol (8236 ± 4256 kgMS/ha/corte) y bajo sombra (3612 ± 1470 KgMS/ha/corte) de piocho a una densidad de 1200 árboles/ha. Sin embargo, deben considerarse situaciones con los valores reportados: 1. Si a 3612 kg aplicamos un porcentaje de utilización del 30% se obtienen 1086 kg de MS de forraje disponible por corte, si asignamos el 3% del peso vivo a vacas de 500 kg (15 kg de MS/vaca/día), podríamos dar de comer a más de 70 vacas. Bajo sombra, los pastos desarrollaron hojas más largas (aunque más delgadas) que las que se produjeron bajo sol, por la elongación de células como un importante medio de adaptación (Rego y Possamai, 2006). Esto se presenta bajo condiciones de menos luz porque los pastos cambian su morfología y elongan sus tallos y hojas (Alonso *et al.*, 2006) para interceptar más luz para fotosíntesis.

Ademas de generar servicios ambientales, el productor puede percibir ingreso económico por concepto de venta de madera (primer raleo) a partir de los 7 u 8 años, y que en el caso de piocho en no más de 12 años concluye su aprovechamiento maderable. Sin embargo, se requiere de análisis financieros que contemplen todos los factores que intervienen. Espino (2018) realizó el análisis financiero de los sistemas: 1. Silvopastoril; 2. Monocultivo intensivo de gramíneas, con base en *M. azedarach* y gramíneas mejoradas. Los resultados a 10 años muestran que en el monocultivo el valor actual neto, y en consecuencia, la tasa interna de retorno fueron negativos. Sin embargo, en la asociación el valor actual neto y tasa interna de retorno fueron positivas e indican que pagan los costos de inversión y mantenimiento y son rentables.

Requerimientos de poda y velocidad de crecimiento

La necesidad de poda de árboles puede disminuirse substancialmente y favorecer otros aspectos como crecimiento de los árboles, para tal fin, el marco de plantación y la disposición de las especies en el terreno son clave. Evans y Rombold (1984), analizaron un esquema de plantación de *M. azedarach*, *L. leucocephala* y *Enterolobium contortisilicium*, especies de rápido y lento crecimiento que al asociarlas una fomenta el crecimiento de la otra, por competencia por luz. La competencia estimula la ramificación hacia arriba, y las ramas primarias se atrofian por falta de luz que es obstruida por las ramas altas. En la asociación piocho-aguacate a 1200 árboles/ha (Santiago-Hernández *et al.*, 2015) se presenta la caída natural de ramas y se fomenta el rápido crecimiento de ambas especies.

Crecimiento radicular y sus efectos

El incremento radicular comúnmente observado en árboles en espacios cerrados, puede impactar negativamente el crecimiento y rendimiento de cultivos acompañantes como en los sistemas agroforestales

o silvopastoriles (Aknifesi *et al.*, 2004). La integración de componentes en un agroecosistema intensivo son una alternativa sostenible, por las interacciones entre componentes agrícolas, pecuarios y arbóreos. Promueven un mejor uso del suelo, por la utilización creciente de productos orgánicos y propician el reciclaje continuo de nutrientes, como base para buscar la competitividad de los productos resultantes (Alonso, 2011). Los sistemas agroforestales tienen la capacidad de de secuestrar CO₂ atmosférico en partes de planta y suelo, se reporta en la transición de suelo agrícola a agroforestal un incremento significativamente el secuestro de 26, 40, y 34% a 0–15, 0–30 y 0–100 cm, respectivamente (Stefano y Jacobson, 2018).

COMENTARIOS FINALES

Para el establecimiento de SSP maderables, es necesario analizar cuáles son los recursos locales y/o naturalizados con que se cuenta en la región donde se pretendan establecer, y en la medida de las posibilidades, recabar información con productores y técnicos sobre aspectos agronómicos para el beneficio de semilla, obtención de plantas y su cultivo.

Las especies arbóreas locales o naturalizadas, tienen alto potencial como componentes de SSP, porque muchas de ellas poseen poco follaje, pierden sus hojas en invierno y presentan crecimiento rápido.

Debido a que los productores para introducir árboles en potreros requieren evitar daño por el ganado a los árboles, la sugerencia es establecer árboles a altas densidad y asociar especies de rápido crecimiento con lento crecimiento, con una disposición en el terreno que proteja al árbol en desarrollo y mantenga áreas de pastoreo para el ganado.

En las áreas tropicales los sistemas de producción pueden intensificarse sosteniblemente, la intensificación no sólo incrementará la productividad de los sistemas tropicales basados en forrajes, sino también reducirá la huella ecológica de la producción pecuaria y generar una diversidad de servicios ecosistémicos, como la mejora de la fertilidad del suelo, la reducción de la erosión y la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, entre otros.

LITERATURA CITADA

- Aknifesi-Festus, K., C. Rowe-Edwin, J. Livesley-Sthepen., R. Kwesiga-Fredy, A.J. Vanlauwe-Bernard and C. Alegre-Julio. 2004. Tree root architecture. In: Below-ground interactions in tropical agroecosystems. Edit.: Noordwijk Mv, Cadish G and Ong CK. CAB International.
- Alonso-Lazo, J., G. Febles-Pérez, T. Ruiz-Vasquez y E. Achang-Geovanis. 2006. Efecto de la sombra en la gramínea asociada en un sistema silvopastoril de leucaena-guinea durante sus diferentes etapas. *Revista Cubana Ciencia Agrícola* 40(4):503–511
- Alonso-Lazo, J., H. Domínguez, G. Garrote, M.J. González-Muñoz, B. Gullón, A. Moure, V. Santos, C. Vila, and R.R. Yáñez. 2011. Biorefinery processes for the integral valorization of agroindustrial and forestall wastes. *CyTA-Journal of Food*. 9(4):282-289.
- Andrade-Tapia, S. 2013. Crecimiento de aguacate naco (*Pentandra salicifolia* (Kunth) Nees) en zona de transición de costa montaña en el estado de Veracruz. Asesores: Jarillo RJ, Escobar HR, Medina LH. Instituto Tecnológico Úrsulo Galván, Campus Tlapacoyan. Úrsulo Galván, Veracruz.
- Ávila-Vargas, G., F. Jiménez-Francisco, J. Beer-Jhon, M. Gómez-Manuel y M. Muhammad-Ibrahim. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería de las Américas* 8(30), 32 - 35.
- Bahamonde-Héctor, A., L. Peri-Pablo, R. Álvarez-Roberto y A. Barneix-Atilio. 2012. Producción y calidad de gramíneas en un gradiente de calidades de sitio y coberturas en bosques de *Nothofagus antarctica* (G. Forster) Oerst. en Patagonia. *Ecología Austral* 22:62-73.
- Bergerón, R. y N. Lewis. 2002. Transporte, salud y bienestar de los animales de granja. *Producción Animal*. 4-23:178.

- Betancourt-González, K., M. Muhammad-Ibrahim, C. Harvey y B. Vargas-Leitón. 2003. Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Agroforestería en las América*. 10: 47-51.
- Bottini-Luzardo, M.B., C.F. Aguilar-Pérez, F.G. Centurión-Castro, J. Solorio-Sanchez and J. Ku-Vera. 2016. Milk yield and blood urea nitrogen in crossbred cows grazing *Leucaena leucocephala* in a silvopastoral system in the Mexican tropics. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* 4 (3), 159-167.
- Cajas-Girón, YS. and L.-Sinclair, F. 2001. Characterization of multistrata silvopastoral systems on seasonally dry pastures in the Caribbean Region of Colombia. *Agroforestry Systems* 53: 215–225.
- Calderón de Rzedowski, G. and M.T. Germán. 1993. Meliaceae. En: *Flora del Bajío y de regiones adyacentes*. Grijalva, P. & B.T. Styles. 11: 1-22.
- Cardozo, J.A.G., J.F. Velásquez, H. Flores, J.A. Velásquez y M. Peña. 2010. Estrés calórico: Efectos en el comportamiento reproductivo y adaptación de los bovinos al trópico. Centro de Biotecnología y Bioindustria, Centro de investigación la Libertad (CORPOICA).
- Chiffelle, G.I., F.A. Huerta and R.D. Lizana. 2009. Physical and chemical characterization of *Melia azedarach* L. fruit and leaf for use as botanical insecticide. *Chilean Journal of Agricultural Research* 69 (1): 38-45.
- Da Silva, J.H., W.L. Johnson, J.C. Burns and C.E. Anderson. 1987. Growth and environment effects on anatomy and quality of temperate and subtropical forage grasses. *Crop Science*. 27:1266-1273.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2013. Sistemas agroforestales maderables em México. Universidad Autónoma de Chapingo <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/8/5572SISTEMAS%20AGROFORESTALES%20MADERABLES%20EN%20MEXICO%20AVM.pdf>. Consultado el 30 de marzo de 2018.
- De Elia, M. 2002. Etología y comportamiento del bovino. UAI (Eds.). Argentina.
- Drugociu, G.L., R. Runceanu, V. Nicorici, S. Hritcu-Pascal. 1977. Nervous typology of cows as a determining factor of reproductive and productive behaviour. *Animal Breeding* 45: 12-62.
- Eriksen, F.I. and A.S. Whitney. 1981. Effects of light intensity on growth of some tropical forage species. 1. Interaction of light intensity and nitrogen fertilization on six forage grasses. *Agronomy Journal* 73:427-433.
- Espino-Hernández, J.L. 2018. Evaluación financiera del sistema silvopastoril: *Melia azedarach* y *Urochloa/Megatyrus*. Tesis Maestría. Facultad de Ingeniería Agrohidráulica. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Teziutlán, Puebla.
- Evans, P.T. and J.S. Rombold. 1984. Paraiso (*Melia azedarach* var. Gigante) woodlots: an agroforestry alternative for the small farmer in Paraguay. *Agroforestry Systems* 2: 199-214.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1992. Legume trees and other fodder trees as protein sources for livestock. Proceedings of the FAO expert consultation. Held at Malaysian Agriculture, Research and Development Institute. Kuala, Lumpur, Malaysia.
- Fearnside, P.M. 2000. Global warming and tropical land-use change: greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. *Climatic Change* 46, 1-2 115-158.
- Ferguson, G. 2013. Subsurface energy footprints. *Environmental Research Letters* 8:1– 6. DOI: 10.1088/1748-9326/8/1/014037.
- García-Miranda, E. 1981. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México, D.F. 357 p.
- Giraldo, L.A. y G. Vélez. 1993. El componente animal en los SSP. *Industrias Producción Agropecuaria*. Azooidea, Medellín 1:27.
- Guevara, L., Y. Polania, J. Pardo y R. Piñeros. 2013. Preferencia trófica de coleópteros coprófagos en dos usos del suelo en zonas de bosque seco tropical. *Revista Colombiana Ciencias Pecuarias*. 26:475.
- Gobbi, A.J. y F. Casasola. 2003. Comportamiento financiero de la inversión en SSP en fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica. *Avances de investigación. Agroforestería en las Américas* Vol. 10 No 39-40.

- Gompertz, B. 1825. XXIV. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. In a letter to Francis Baily, Esq. FRS &c. Philosophical transactions of the Royal Society of London, 115, 513-583.
- González, P.J.M. y J.V.V. Alcaraz. 2013. Cultivo y costos de un sistema silvopastoril intensivo a base de gramíneas y *Leucaena*. INCEPTUM. 8:277-292.
- González, P.J.M. 2006. El estrés calórico en los bovinos. Zootecnista U.N. Producción Animal UDCA. 68-74.
- Hall, M. 2000. Meet the challenges of heat stress feeding. Howard's Dairyman. pp. 344.
- Hernández-Hernández, F. 2018. Rendimiento, calidad nutritiva del forraje e interacciones aéreas árbol-gramínea en un sistema silvopastoril intensivo. Tesis Doctoral. Colegio posgraduados Campus Veracruz.
- Hernández, M. y O. Guenni. 2008. Producción de biomasa y calidad nutricional del estrato graminoide en un sistema silvopastoril dominado por samán (*Samanea saman* (Jacq) Merr). Zootecnia Tropical. 26: 439-453.
- Ibrahim, M. y C. Harvey. 2003. Diseño y manejo de la cobertura arbórea en fincas ganaderas para mejorar las funciones productivas y brindar servicios ambientales. Agroforestería en las Américas. 10 (39-40):4.
- Jarillo-Rodríguez, J. 2008. Efecto de la carga animal sobre la disponibilidad, calidad nutritiva y suelo de gramas de nativas y en el comportamiento animal en el trópico húmedo. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- Lemus, G. 2008. Analisis de productividad de pasturas en SSP en fincas ganaderas doble proposito en Esparza, Costa Rica. M.Sc. Thesis. CATIE. Costa Rica.
- López, A., A. Schlovoigt, M. Ibrahim, C. Klein y M. Kanninen. 1999. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la Zona Atlántica de Costa Rica. Agroforestería en las Américas 6(23): 51-53.
- Lorea-Hernández, F.G. 1997. On *Cinnamomum* (Laureacea) in Mexico. Acta Botanica Mexicana, 40, 1-18. Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57404001>.
- González-Arcia, M., B. Valles-de la Mora, M.A. Díaz-Alonso, E. Castillo-Gallegos, E. Ocaña-Zavaleta y J. Jarillo-Rodríguez. 2012. Effect of grazing *Cratylia argentea* associated with *Brachiaria brizantha*-Toledo on quality pasture and weight gain in holstein × zebu heifers. Tropical and Subtropical Agroecosystems 15 (SUP 2), S1-S11.
- Mahecha, L. 2002. El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. Revista Colombiana Ciencias Pecuarias Vol. 15: 2, 226-231.
- Martínez-Encino, C., G. Villanueva-López y F. Casanova-Lugo. 2013. Densidad y composición de árboles dispersos en potreros en la sierra de tabasco, México. Agrociencia 47: 483-496.
- Mead, D.J. 2009. Biophysical interactions in silvopastoral systems: a New Zealand perspective. pp. 3-9. En: Actas del 1o Congreso Nacional de SSP, 14-16 mayo, Misiones, Argentina.
- Mora-Rangel, D.A. 2013. Evaluación del crecimiento de *Melia azedarach* L. en zona de transición costa-montaña. Tesis profesional. Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Campus Tlapacoyan. Úrsulo Galván, Veracruz.
- Murgueitio, E., C.A. Cuartas, F. Lalinde, C.H. Molina y J.F. Naranjo. 2009. Los SSP Intensivos (SSPi), una herramienta de desarrollo rural sustentable con adaptación al cambio climático en regiones tropicales de América. En: II Congreso sobre SSP. Fundación Produce Michoacán, A. C. Morelia Michoacán, México. pp. 9-20.
- Murgueitio, R.E., O.J. Chara, R.R. Barahona, C.C. Cuartas y R.J. Naranjo. 2014. Los SSP intensivos (SSPi), herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 17: 501-507.
- Negreros, P. 1993. Los árboles de uso múltiple para agroforestería en es estado de Quintana Roo. Reporte técnico interno del programa ICRAF en México. 58.

- Obispo, N.E., Y. Espinoza, J.L. Gil, F. Ovalles, E. Cabrera y M.J. Pérez. 2013. Relación de la proporción de sombra en el potrero con el rendimiento, calidad del forraje y ganancia diaria de peso en novillos. *Revista Científica, Universidad del Zulia*. 13 (6), pp. 531-536.
- Orwa, C., A. Mutua, R. Kindt, R. Jamnadass and S. Anthony. 2009. Agroforestry database: A tree reference and selection guide version 4.0. World Agroforestry Centre, Nairobi, Kenya. <http://goo.gl/DjZSEN>.
- Peniche-González, I.N., Z.U. González-López, C.F. Aguilar-Pérez, J.C. Ku-Vera, A.J. Ayala-Burgos and F.J. Solorio-Sánchez. 2014. Milk production and reproduction of dual-purpose cows with a restricted concentrate allowance and access to an association of *Leucaena leucocephala* and *Cynodon nlemfuensis*. *Journal of Applied Animal Research* 42:345– 351. DOI: 10.1080/09712119.2013.875902
- Pérez, H.V.M. 2012. Comportamiento de ganado bovino doble propósito pastando sitios con cobertura arbórea. Maestría en ciencias. Colegio de posgraduados, Campus Veracruz.
- Pérez, V.A. y C. Landeros. 2009. Agricultura y deterioro ambiental. *Elementos Ciencia Arte y Cultura*. 16:19-25.
- Poppi, D.P. and S.R. McLennan. 1995. Protein and energy utilization by ruminants at pasture. *Journal of Animal Science* 73:278– 290. (Available at: <http://goo.gl/Oi2CTV>).
- Quero-Carrillo, A.R., J.F. Enríquez-Quiroz y J.L. Miranda. 2007. Evaluación de especies forrajeras en América tropical, avances o *status quo*. *Interciencia*. 32: 8, 567-571.
- Radrizzani, A. y R. Renolfi. 2004. Recursos naturales. INTA E.E.A. Santiago del Estero. (Consultado: 12 de Julio de 2010 y disponible en: <http://www.produccion-animal.com.ar>).
- Radrizzani, B.A.R. y F. Renolfi. 2006. Importancia de los árboles. *Producción animal*. Pág.41-44.http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejopasturas/manejo%20silvopastoril/63importancia_arbol.pdf.
- Ramírez-Avilés, L., C.J.B. Castillo, C.A.J. Chay y S.F.J. Solorio. 2010. Rendimiento y calidad de pasturas tropicales bajo condiciones de sombra. In: Velasco Z. Ma., A. Hernández G., A. Pérezgrovas G., y B. Sánchez M. (eds). *Los Forrajes y su Impacto en el Trópico*. FMVZ-UNACH. Chiapas, México. pp: 249-267.
- Rego, G. e E. Possamai. 2006. Efeito do sombreamento sobre o teor de clorofila e crescimento inicial do Jequitibá-rosa. *Brazileira Forage Research* 53:179–194.
- Rosales, M.M. 1999. Uso de la diversidad forrajera tropical en sistemas. *Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica*. 3: 145-159.
- Sánchez, D.M. 1999. Sistemas Agroforestales para intensificar de manera sostenible la producción animal en Latinoamérica tropical. Dirección de Producción y Sanidad Animal. FAO. Roma. 1-12.
- Santiago-Hernández, F.S. López-Ortiz, C.A. Ávila-Reséndiz, J. Jarillo-Rodríguez, P. Pérez-Hernández y J.D. Guerrero-Rodríguez. 2015. Physiological and production responses of four grasses from the genera *Urochloa* and *Megathyrsus* to shade from *Melia azedarach* L. *Agroforestry systems*, 89:5.
- Scholes, J. and S.R. Archer. 1997. Tree-grass interactions in savannas. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 28, 517-544. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.517>.
- Shalloo, L., P. Dillon, J. O'Loughlin, M. Rath and M. Wallace. 2004. Comparison of a pasture-based system of milk production on a high rainfall, heavy-clay soil with that on a lower rainfall, freedrainning soil. *Grass Forage Science*. 59:157–168.
- Stefano, A.D. and M.G. Jacobson. 2018. Soil carbon sequestration in agroforestry systems: a meta-analysis. *Agrofor Syst*. 92:285–299 <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0147-9>.
- Tinoco-Magaña, J.C., C.F. Aguilar-Pérez, R. Delgado-León, J.G. Magaña-Monforte, J.C. Ku-Vera and J. Herrera-Camacho. 2012. Effects of energy supplementation on productivity of dual-purpose cows grazing in a silvopastoral system in the tropics. *Tropical Animal Health and Production* 44:1073– 1078. DOI: 10.1007/s11250-011-0042-8.
- Torres-Rivera, J.A. 2007. Fortalecimiento del sistema producto ovinos. *Tecnologías para Ovinocultores. Forrajes y Pastizales. Establecimiento y Manejo de Sistemas Pastoriles*.
- Van-Soest, P. 1994. Plant, animal and environment. In: *Nutritional ecology of the ruminant*. 2da Ed. Cornell University Press. Ithaca, EUA. pp 77-92.

- Villanueva, C., Ibrahim, M. J. Ríos, J.C. Suárez. 2008. Disponibilidad de *Brachiaria brizantha* en potreros con diferentes niveles de cobertura arbórea en el trópico subhúmedo de Costa Rica. *Zootecnia Tropical*. 26: 293–296.
- Villanueva, C., Ibrahim, M., C. Harvey and H. Esquivel-Mimensa. 2003. Tipologías de fincas con ganadería bovina y cobertura arbórea en pasturas en el trópico seco de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 10 (39-40):9.
- Watson, R.T., I.R. Noble, B. Bolin, N.H. Ravindranath, D.J. Verardo and D.J. Dokken. 2000. *Land Use, Land-Use Change and Forestry*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Wilson, J.R. 1996. Shade-stimulated growth and nitrogen up- take by pasture grasses in a subtropical environment. *Australian Journal Agricultural Research*. 47: 1075-1093.
- Wilson, J.R. 1998. Influence of planting four tree species on the yield and soil water status of green panic pasture in subhumid south-east Queensland. *Tropical Grassland*. 32: 209-220.
- Zárate-Martínez, J.P., V.A. Esqueda-Esquivel, J.C. Vinay-VadilloA y S.M. Jácome-Maldonado. 2010. Evaluación económico-productiva de un sistema de producción de leche en el trópico. *Agronomía Mesoamericana* 21(2):255-265. ISSN: 1021-7444.