



## **SISTEMAS SILVOPASTORILES, ESTRATEGIA DE PRODUCCIÓN Y SERVICIOS AMBIENTALES**

### **[SILVOPASTORAL SYSTEMS PRODUCTIVE STRATEGY AND ENVIRONMENTAL SERVICES]**

**F. Casanova Lugo<sup>1</sup>, A. Chay Canul<sup>2</sup>, V. Díaz Echeverría<sup>1</sup>, A. Piñeiro Vázquez<sup>3</sup>, P. Ramírez-Barajas<sup>1</sup>, I. Oros  
Ortega<sup>1</sup>, L. Lara Pérez<sup>1</sup>, L. Macario González<sup>1</sup>, I. Pat Aké.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México / I.T. Zona Maya, Carretera Chetumal–Escárcega km 21.5, Ejido Juan Sarabia, C.P. 77960, Othón P. Blanco, Quintana Roo, México. <sup>2</sup>División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Teapa, km 25, R/A. La Huasteca 2ª Sección, Villahermosa, Tabasco, México. <sup>3</sup>Tecnológico Nacional de México / I.T. Conkal, km 16.3 antigua carretera Mérida-Motúl, Conkal, Yucatán, México.

## **INTRODUCCIÓN**

A nivel mundial solo el 23% de los ecosistemas se consideran intactos, el resto han sido modificado por las diversas actividades humanas (Watson *et al.*, 2016). Debido a la demanda global creciente de alimentos, en poco más de una década se perdieron 2.3 millones de km<sup>2</sup> de bosques a causa del aumento de la producción agropecuaria extensiva (Hansen *et al.*, 2013). Estos sistemas extensivos de producción de alimentos presentan impactos negativos en el ambiente por uso excesivo de fertilizantes y pesticidas, bajos niveles de eficiencia y rentabilidad, y conllevan a un impacto en la biodiversidad, alteración de los ciclos geoquímicos e hidrológicos y la introducción de especies exóticas o plagas (Velázquez *et al.* 2002).

Actualmente, la ganadería tropical enfrenta serios cuestionamientos debido al modelo imperante de producción, caracterizado por grandes extensiones de áreas con pastos; baja diversidad de especies; alto grado de transformación de los ecosistemas naturales; escasa integración con el sector agrícola, el forestal y con otras especies pecuarias; baja eficiencia y rentabilidad; y poca participación efectiva en la solución de las necesidades socioeconómicas de la población (Molina *et al.*, 2009).

Los sistemas silvopastoriles (SSP) representan una alternativa tecnológica de producción pecuaria sustentable (Nair *et al.*, 2009). Dichos sistemas involucran la presencia de leñosas perennes (árboles o arbustos) que interactúan con los componentes tradicionales (i.e. pastos y animales), bajo un sistema de manejo integral, que propician una alta biodiversidad animal y vegetal (Harvey *et al.* 2007; Nair *et al.*, 2009; Casanova-Lugo *et al.*, 2010), reducen la presión sobre los bosques y selvas en las regiones tropicales, y en consecuencia, reducen las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmosfera (Villanueva-López *et al.*, 2016). Además, incrementan el rendimiento y calidad de forraje, lo que mejora la productividad animal (Casanova-Lugo *et al.*, 2014). Asimismo, ofrecen otros beneficios ambientales como la fijación y reciclaje de nitrógeno atmosférico, protegen al suelo de la erosión y a la vez, adicionan materia orgánica, mejoran el microclima al interior de los potreros debido a mayores áreas con sombra y, aumentan la



incorporación del carbono (C) atmosférico al ciclo biológico a través de la fotosíntesis (Harvey y González-Villalobos, 2007; Nair *et al.*, 2009; Nair, 2012). Por lo anteriormente planteado, el objetivo de este documento es recopilar las principales experiencias y resultados obtenidos en trópico de México con el uso de los SSP en la producción animal y en la generación de servicios ambientales.

### **Rendimiento y calidad del forraje**

Algunas experiencias en el comportamiento agronómico de las especies forrajeras en SSP en sureste de México han sido documentados recientemente. Por ejemplo, en el estado de Yucatán, Casanova-Lugo *et al.* (2014) encontraron que los bancos de forraje mixtos (*L. leucocephala* y *G. ulmifolia*) poseen un mayor rendimiento de forraje (5.1 t MS ha<sup>-1</sup>) comparado con los bancos de *L. leucocephala* (3.4 t MS ha<sup>-1</sup>) en la estación seca y lluviosa. Además, el banco de forraje mixto acumuló mayor rendimiento de forraje durante el año (10.2 t MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) que los bancos de *G. ulmifolia* (9.0 t MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) o *L. leucocephala* (6.9 t MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). Adicionalmente se encontró que el contenido de proteína cruda no fue influenciado por la época del año. Sin embargo, los contenidos de fibra detergente neutra y fibra detergente ácida del forraje fueron mayores en la estación lluviosa (476 g kg<sup>-1</sup> MS), en comparación con la estación seca (325 g kg<sup>-1</sup> MS).

En Quintana Roo, Montejo-Martínez (2019) evaluó la frecuencia de aprovechamiento (i.e. 30 y 50 días) en dos SSP uno de *L. leucocephala* asociado con pasto estrella (*C. plectostachyus*) y otro de *L. leucocephala* asociado con pasto Mombasa (*Panicum maximum*). Se encontró que el rendimiento de biomasa forrajera de *L. leucocephala* fue mayor con la frecuencia de aprovechamiento a 50 días. El contenido de proteína cruda de *L. leucocephala* en ambos SSP fueron similares, no obstante, en frecuencias de aprovechamiento a 30 días tuvo mayor contenido de Fibra detergente neutra. A pesar de lo anterior, la frecuencia de aprovechamiento no afectó el rendimiento de biomasa de los pastos en ambos SSP con un valor promedio de 2.2 t MS ha<sup>-1</sup>. Estos valores son similares a lo reportado en Tepalcatepec, Michoacán por Bacab-Pérez *et al.* (2011) con rendimientos de forraje de 2.4 t MS ha<sup>-1</sup> por pastoreo de bovinos cruzados en SSP de *L. leucocephala* cv. Cunningham y *P. maximum* cv Tanzania y con una frecuencia de aprovechamiento de 45 días.

### **Comportamiento animal**

Los sistemas silvopastoriles han sido documentados como una estrategia viable para la alimentación animal. Algunas experiencias en el sureste de México documentadas por Villanueva-Partida *et al.* (2019), muestran que la ganancia diaria de peso (GDP) en ovinos de pelo en pastoreo fue similar en dos SSP; uno de *L. leucocephala* asociado con pasto estrella (*C. plectostachyus*) y otro de *L. leucocephala* asociado con pasto Mombasa (*Panicum maximum*), con valores de 102 y 114 g animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, respectivamente. No obstante, éstos fueron inferiores al compararse con un sistema de alimentación de confinamiento (195 g animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) basados en el uso de concentrados comerciales. Del mismo modo, Barros-Rodríguez *et al.* (2012) en ovinos de pelo alimentados en SSP de *L. leucocephala* cv. Cunningham y *P. maximum*, obtuvo valores de GDP de 106 g animal<sup>-1</sup>



<sup>1</sup> día<sup>-1</sup>. Valores similares a los reportados por Arcos *et al.* (2016) en ovinos alimentados con concentrado más pasto *Pennisetum purpureum* y 30 % de inclusión de un árbol forrajero *Moringa oleifera* Lam. o *Trichanthera gigantea* (Humb. & Bonpl.) Nees (96 a 155 g animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) y por Izaguirre *et al.* (2011) en ovinos alimentados con pasto *C. plectostachyus* y diferentes niveles de inclusión de *Guazuma ulmifolia* Lam., *L. Leucocephala*, *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. (54 a 137 g animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>).

En Apatzingán Michoacán, Rodríguez Echevarría *et al.* (2013) analizaron el efecto de la época del año en la calidad de la carne y composición de la grasa intramuscular de bovinos engordados en un SSP. Los resultados muestran que la carne de los torretes que fueron alimentados en un SSP, no presentó diferencias entre épocas del año en sus características productivas y composición de la canal, por lo que el sistema no afectó negativamente la calidad de la carne. Por lo tanto, alimentar ganado con forrajes verdes del SSP, favorece la producción de carne magra, y un perfil de ácidos grasos deseable ya que se destaca la presencia del ácido oleico en ambas épocas.

Los estudios en la producción y calidad de leche, así como la de sus derivados en SSP bajo las condiciones del trópico de México ha sido poco explorados. Al respecto, Bacab *et al.* (2013) señala la producción de leche vendible promedio en vacas Suizo Americano mantenidas en pastoreo de tres ranchos con SSP del trópico seco fue en promedio 25 % menor en comparación con sistema convencional de pastoreo de pastos monocultivo (9.3 kg vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>). A pesar de lo anterior, los animales del sistema convencional recibieron al momento de la ordeña 8.0 kg vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> de alimento concentrado en comparación con los 1.5 kg vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> que reciben en los ranchos con SSP. Lo anterior podría ser una estrategia para reducir los costos de producción como resultado de una baja utilización de insumos externos, tales como fertilizantes y alimentos concentrados comerciales. No obstante, se requieren más estudios a largo plazo para determinar la viabilidad de los SSP en la producción de leche bovino, así como en otras especies menores (i.e. ovinos y cabras).

### **Almacenamiento de carbono y flujos de CO<sub>2</sub> del suelo**

Con relación al almacenamiento de carbono diversos estudios indican que los SSP pueden contribuir a mantener y/o incrementar las existencias de carbono por unidad de superficie. Al respecto, un estudio realizado por López-Santiago (2018) en condiciones de trópico húmedo demostró que los SSP conformados por *Brachiaria brizantha* (A.Rich.) Stapf asociado con árboles nativos dispersos en potreros (*Cedrela odorata* L., *Cordia alliodora*, Ruiz & Pav. Oken, *Spondias mombin* L. y *Zanthoxylum kellerianii*, P. Wilson) almacenaron 130.8 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, de lo cual el suelo almacenó el 90%, la biomasa arbórea y la biomasa herbácea 10%, mientras que los sistemas ganaderos convencionales basados en monocultivo de pastos almacenaron 26 % menos carbono (96.9 Mg C ha<sup>-1</sup>). En otro estudio en condiciones de trópico seco, López-Santiago *et al.* (2019) encontró que los SSP de *L. leucocephala* asociado con *P. maxium* cv. Tanzania de seis años de establecimiento pueden igualar las existencias de carbono comparado con las selvas jóvenes de aproximadamente 20 años (120.7 vs. 120.9 Mg C ha<sup>-1</sup>), pero incrementan hasta un 35 % los reservorios de dicho elemento cuando son comparados con los sistemas ganaderos basados en el monocultivo de pasto estrella (*C. plectostachyus*) de 10 años de establecimiento. Del mismo modo,



estos resultados coinciden con lo reportado por Casanova-Lugo *et al.* (2018) en trópico seco, donde se documentó que los SSP en la modalidad de bancos de forraje de especies leñosas (i.e. *L. leucocephala* y *G. ulmifolia*) con edades de siete años, mantienen grandes cantidades de carbono en el suelo con reservorios que oscilan de 140 a 161 Mg C ha<sup>-1</sup>.

Por otra parte, los cambios en el paisaje promueven variaciones significativas en la dinámica de los flujos de CO<sub>2</sub> del suelo bajo condiciones de trópico (Villanueva-López *et al.* 2016), debido a que se modifican las características fisicoquímicas del suelo, se altera la dinámica del ciclo del carbono (C) en el suelo el cual está fuertemente relacionado con la pérdida de carbono orgánico del suelo, los cuales son productos de cambios de la vegetación nativa. Una alternativa para reducir los flujos y promover la captura de CO<sub>2</sub> es la incorporación de árboles y arbustos en los potreros y reconvertir los sistemas de producción animal convencional hacia SSP. Estos sistemas pueden estabilizar los flujos de CO<sub>2</sub> por medio de las raíces de estas plantas pues estas penetran varios horizontes del suelo aumentando la aireación y porosidad. De igual manera, contribuyen al intercambio gaseoso en el suelo y promueven una mayor descomposición de la hojarasca debido a la presencia de una mayor diversidad de microorganismos en el suelo (Moreno y Lara, 2003).

### **Conservación de biodiversidad**

México posee una extraordinaria riqueza biológica, tanto a nivel genético como de variedad de especies y agro-ecosistemas. Se estima que aproximadamente de cada diez especies que existen en el mundo una se encuentra en México, razón por la cual pertenece al conjunto de los doce países mega-diversos del planeta (Sarukhán, 2009). Junto con Brasil, Colombia e Indonesia, México se encuentra dentro de los países con mayor riqueza de especies que albergan entre el 60 y 70 % de la diversidad y posee un alto número de especies endémicas (Sarukhán, 2009). En este contexto los SSP pueden servir como un puente que conecte funcional y estructuralmente áreas destinadas a la conservación, sin dejar de lado la integridad del sistema microorganismo-suelo-plantas y la productividad agropecuaria sustentable de grandes regiones y sectores rurales. Por lo tanto, existe una necesidad creciente para comprender cómo lograr mayores rendimientos en la producción de alimentos con menores impactos, lo cual requiere evaluaciones cuantitativas de cómo las diferentes prácticas de producción y las variables ambientales afectan los rendimientos (Tilman *et al.*, 2011).

Los árboles utilizados en los SSP pertenecen a una amplia diversidad de grupos funcionales nativos, especies pioneras y especies de la flora original del bosque (González-Valdivia *et al.* 2017), que potencialmente pueden albergar una buena representatividad de la riqueza de especies de los bosques naturales. En Mesoamérica, México ocupa el primer lugar en riqueza de árboles utilizados en los sistemas agroforestales con dominancia de las familias Fabaceae, Bignoniaceae, Malvaceae, Moraceae, Rubiaceae y Rutaceae (González-Valdivia *et al.*, 2017). En el trópico de México, las especies arbóreas o arbustivas preferidas por los productores debido a sus múltiples usos como forrajeros, maderables, frutales, melíferas, combustible o leña son las siguientes: *Cedrela odorata* L., *Swietenia macrophylla* King, *Moringa oleifera* Lam. *Guazuma ulmifolia* Lam., *Piscidia piscipula* (L.) Sarg., *G. sepium*, *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth., *L. leucocephala*,



*Cocos nucifera* L., *Theobroma cacao* L., *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) y *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. (Villanueva-Partida *et al.*, 2019).

Además de lo anterior, también se ha estudiado la riqueza y la abundancia de macroinvertebrados del suelo en SSP conformados por *L. leucocephala* y pastos asociados (i.e. *P. maximum* y *C. plectostachyus*), un pastizal convencional de *B. brizantha* con árboles dispersos en baja densidad y una selva mediana subperennifolia en el sur de Quintana Roo. Al respecto Ramírez-Barajas *et al.* (2019) señalan que los sistemas pecuarios manejados con componentes leñosos (árboles y arbustos), como los SSP que incluyen a la leguminosa *L. Leucocephala*, pueden equipararse, en términos de abundancia y diversidad de órdenes de fauna edáfica, con las selvas en proceso recuperación. Por lo tanto, los SSP pueden ser propuestos como una estrategia de manejo, recuperación e interconexión funcional de áreas naturales conservadas.

### CONCLUSIONES

El presente estudio mostró las ventajas de transformar los actuales sistemas de pastos degradados y los cultivos de gramíneas mejoradas en SSP, lo cual tiene un impacto positivo en la producción y la calidad de los forrajes y, por consiguiente, en el balance nutricional de la dieta que consumen los animales obteniendo mayores rendimientos de leche y carne de mejor calidad. Adicionalmente promueven la conservación de especies vegetales lo que contribuye consecuentemente al aumento de la fauna edáfica del suelo, así como mejoras en el almacenamiento de carbono y estabilización de los flujos de CO<sub>2</sub> del suelo que, junto con otros factores beneficiosos del sistema, pueden contribuir a la producción animal sustentable.

### LITERATURA CITADA

- Arcos, A. D. N., U. E. Aguilar, G. J. R. Sanginés y P. E. Lara. 2016. Comportamiento productivo de corderos alimentados con *Moringa oleifera* o *Trichanthera gigantea*. Perspectivas y avances de la producción animal en México. 1ª ed. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, pp.109-115.
- Bacab, H. M., N. B. Madera, F. J. Solorio, F. Vera y D. F. Marrufo. 2013. Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical. Avances en Investigación Agropecuaria 17(3): 67-81.
- Bacab-Pérez, H. M. y F. J. Solorio-Sánchez. 2011. Oferta y consumo de forraje y producción de leche en ganado de doble propósito manejado en sistemas silvopastoriles en Tepalcatepec, Michoacán. Tropical and Subtropical Agroecosystems 13(3): 271-278.
- Barros-Rodríguez, M., J. Solorio-Sánchez, J. C. Ku-Vera, A. Ayala-Burgos, C. Sandoval-Castro and G. Solís-Pérez. 2012. Productive performance and urinary excretion of mimosine metabolites by hair sheep grazing in a silvopastoral system with high densities of *Leucaena leucocephala*. Trop Anim Heal Prod 44: 1873-1878.
- Casanova-Lugo, F., J. Petit-Aldana, F. Solorio-Sánchez, D. Parsons and L. Ramírez-Avilés. 2014. Forage yield and quality of *Leucaena leucocephala* and *Guazuma ulmifolia* in mixed and pure fodder Banks systems in Yucatan, Mexico. Agroforest Syst 88: 29-39. doi: 10.1007/s10457-013-9652-7.





- Casanova-Lugo, F., L. Ramírez-Avilés y F. J. Solorio-Sánchez. 2010. Efecto del intervalo de poda sobre la biomasa foliar y radical en árboles forrajeros en monocultivo y asociados. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 12: 657-665.
- Casanova-Lugo, F., J. Petit-Aldana, F. Solorio-Sánchez, L. Ramírez-Avilés, S. E. Ward, G. Villanueva-López and D. R. Aryal. 2018. Carbon stocks in biomass and soils of woody species fodder banks in the dry tropics of Mexico. *Soil Use and Management*, <https://doi.org/10.1111/sum.12456>.
- Villanueva-López, G., F. Casanova-Lugo, P. Martínez-Zurimendi, D. Parsons and L. A. Aguilar-Solís. 2016. Effect of live fences of *Gliricidia sepium* on CO<sub>2</sub> fluxes in tropical livestock systems. *Soil Use and Management* 32: 553-564
- González-Valdivia, N. A., W. Cetzal-Ix, S. K. Basu, F. Casanova-Lugo and J. F. Martínez-Puc. 2017. Diversity of Trees in the Mesoamerican Agroforestry System. In: Ahuja M.R. and Jain S.M (eds.). *Biodiversity and Conservation of Woody Plants*, First edition, Springer International Publishing. pp. 455-487.
- Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice and J. R. G. Townshend. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342: 850-53.
- Harvey, C. A., C. F. Guindon, W. A. Haber, H. De Rosier y K. G. Murray. 2007. Importancia de fragmentos de bosque, árboles dispersos y cortinas rompevientos para la conservación de biodiversidad en el agropaisaje de Monteverde, Costa Rica. En: Celia A. Harvey y Joel C. Sáenz (eds.). *Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica*. Editorial INBio. pp. 289-325.
- Harvey, C. A. and J. A. González-Villalobos. 2007. Agroforestry systems conserve species-rich but modified assemblages of tropical birds and bats. *Biodivers Conserv* 16: 2257-2292.
- Izaguirre F, T. J. J. Martínez, F. J. O. Jiménez, C. S. Posada, C. C. G. García y P. C. Martínez. 2011. Respuesta reproductiva y productiva de borregas Pelibuey a la suplementación con hojas de Caulote (*Guazuma ulmifolia*), Guaje (*Leucaena leucocephala*) y Yaite (*Gliricidia sepium*) en condiciones de trópico húmedo. *Liv Res Rur Dev* 23(10): 1-10.
- López-Santiago, J. G. 2018. Almacenamiento de carbono y flujos de CO<sub>2</sub> del suelo en sistemas ganaderos de Tabasco. Tesis de Maestría en Ciencias. El Colegio de la Frontera Sur, unidad Villahermosa, Tabasco México. 52 p.
- López-Santiago, J. G., F. Casanova-Lugo, G. Villanueva-López, V. F. Díaz-Echeverría, F. J. Solorio-Sánchez, P. Martínez-Zurimendi, D. R. Aryal and A. J. Chay-Canul. 2019. Carbon storage in a silvopastoral system compared to that in a deciduous dry forest in Michoacán, Mexico. *Agroforestry Systems* 93(1): 199-211.
- Molina, C. H., E. J. Molina y J. P. Molina. 2009. Carne, leche y mejor ambiente en el sistema silvopastoril intensivo con *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit Mimosaceae. En: E. Murgueitio; C. A. Cuartas y J. F. Naranjo, eds. *Ganadería del futuro. Investigación para el desarrollo*. Segunda edición. Cali, Colombia: Fundación CIPAV. pp. 42-65.
- Montejo-Martínez, D. 2019. Efecto de la frecuencia de aprovechamiento sobre la respuesta foliar y radicular de *Leucaena leucocephala* y pastos asociados, en dos arreglos silvopastoriles. Tesis



- de Maestría en Ciencias, Instituto Tecnológico de la Zona Maya, Othón P. Blanco, Quintana Roo, México. 39 p.
- Moreno, F. y W. Lara. 2003. Variación del carbono del suelo en bosques primarios intervenidos y secundarios. In: Orrego, S.A., J.I. Del Valle, and F.H. Moreno (eds.). Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales de Colombia: Contribuciones para la mitigación del cambio climático. Universidad Nacional de Colombia; Departamento de Ciencias Forestales; Centro Andino para la Economía en el Medio Ambiente, Bogotá.
- Nair, P. K. R. 2012. Carbon sequestration studies in agroforestry systems: a reality-check. *Agrofor Syst* 86: 243-253. doi: 10.1007/s10457-011-9434-z.
- Nair, P. K. R., Kumar B.M., Nair V.D. 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *J. Plant Nutri. Soil Sci.* 172: 10-23.
- Ramírez-Barajas, P. J., B. E. Santos-Chable, F. Casanova-Lugo, L. A. Lara-Pérez, J. I. Tucuch-Haas, A. Escobedo-Cabrera, G. Villanueva-López y V. F. Díaz-Echeverría. 2019. Diversidad de macro-invertebrados en sistemas silvopastoriles del sur de Quintana Roo, México. *Revista de Biología Tropical (en prensa)*.
- Rodríguez-Echeverría, M. E., G. Corral-Flores, B. Solorio-Sánchez, A. D. Alarcón-Rojo, J. A. Grado-Ahuir, C. Rodríguez-Muela, L. Cortés-Palacios, V. E. Segovia-Beltrán y F. J. Solorio-Sánchez. 2013. Calidad de la carne de bovinos engordados en un sistema silvopastoril intensivo en dos épocas del año. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 16: 235-241.
- Sarukhán, J., P. Koleff, J. Carabias, J. Soberón, R. Dirzo, J. Llorente-Bousquets, G. Halffter, R. González, I. March, A. Mohar, S. Anta y J. de la Maza. 2009. Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F., 100 p.
- Tilman, D., C. Balzer, J. Hill and B. L. Befort. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proc Natl Acad Sci U S A* 108(50): 20260-20264. doi:10.1073/pnas.1116437108
- Velázquez, A., J. F. Mas, J. L. Palacio, J. R. Díaz, R. Mayorga, C. Alcántara, R. Castro y T. Fernández. 2002. Análisis de cambio de uso del suelo. Informe técnico. Convenio INE-Instituto de Geografía, UNAM.
- Villanueva-Partida, C. R., F. Casanova-Lugo, N. A. González-Valdivia, G. Villanueva-López, I. Oros-Ortega, W. Cetzal-Ix and S. K. Basu. 2019. Traditional uses of dispersed trees in the pastures of the mountainous region of Tabasco, Mexico. *Agroforestry Systems* 93(2): 383-394.
- Villanueva-Partida, C. R., F. Casanova-Lugo, G. Villanueva-López, N. A. González-Valdivia, I. Oros-Ortega and V. Díaz-Echeverría. 2016. Influence of the density of scattered trees in pastures on the structure and species composition of tree and grass cover in southern Tabasco, Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 232: 1-8.
- Villanueva-Partida, C. R., V. F. Díaz-Echeverría, A. J. Chay-Canul, L. Ramírez-Avilés, F. Casanova-Lugo y I. Oros-Ortega. 2019. Comportamiento productivo e ingestivo de ovinos en crecimiento en sistemas silvopastoriles y de engorda en confinamiento. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias (en prensa)*.
- Watson, J. E. M., E. S. Darling, O. Ventner *et al.* 2016. Bolder science needed now for protected areas. *Conserv Biol* 30: 243-48.