

# Incorporation of tree species with agricultural and agroindustrial waste in the generation of resilient livestock systems<sup>1</sup>

## Integración de especies arbóreas con residuales agrícolas y agroindustriales en la generación de sistemas ganaderos resilientes

Palma, J.M.<sup>1</sup>, Zorrilla, J.M.<sup>2</sup> and Nahed, J.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitario de Investigación y Desarrollo Agropecuario (CUIDA), Universidad de Colima  
Av. Gonzalo de Sandoval No. 333, Col. Las Víboras, Colima, México. CP 28045

<sup>2</sup>Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), Universidad de Guadalajara

<sup>3</sup>El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)

Email: palma@ucol.mx

Tropical livestock in Mexico is pointed as a system that generates adverse environmental impacts, among them, deforestation, erosion, degradation and, recently, pollution with greenhouse gases, besides having low productive indicators, with low economic income for those who hold the activity, in a social environment where family units of rural production predominate. Our country has a mega-diverse environment with an important arboreal richness where its knowledge and use in livestock will allow strategies for the reduction and/or mitigation of greenhouse gases and the development of resilient livestock systems, which also achieve substantial improvements in productive and economic performance of who holds it. Therefore, this study aims to propose integration of tree species associated with agricultural and agro-industrial waste (AAW) in the diet of ruminants in tropical areas. A new species with forage potential is proposed due to its nutritional characteristics (*Ricinus communis*) and different cases are discussed, at ranch level, where productive performance is improved with the inclusion of arboreal species that allow adjustments to the dry tropic feeding systems associated with the AAWs, for the improvement in productive performance and for the favorable economic impact, particularly in Colima, associated with the market, are established as viable alternatives for tropical livestock.

Key words: *cattle rearing, agroforestry, trees, profit, sustainability*

### INTRODUCTION

Livestock in Mexico is an economic activity with a strong social relationship, since 80 % of the income of rural production units are due to agriculture and livestock, with limited economic income that induces poverty (SAGARPA-FAO 2012). Livestock is an activity associated with problems of deforestation, erosion, biodiversity loss, pasture degradation and pollution with greenhouse gases (GHG) related to climate change (Nahed *et al.* 2014). All this coupled with a population demanding food, characterized by a social dichotomy where the majority of the population is located in the extreme poverty stratum in contrast to the concentration of wealth in a few (Esquivel 2015).

In the case of Mexico, this socioeconomic panorama

La ganadería tropical en México está estigmatizada como un sistema que genera impactos ambientales adversos, entre ellos, deforestación, erosión, degradación y recientemente contaminación con gases de efecto invernadero, además de tener bajos indicadores productivos, con bajo ingreso económico para quien detenta la actividad, en un ambiente social donde preponderan las unidades familiares de producción rural. Nuestro país posee un ambiente megadiverso con una riqueza arbórea importante en donde su conocimiento y utilización en la ganadería permitirán estrategias para la reducción y/o mitigación de gases de efecto invernadero y el desarrollo de sistemas ganaderos resilientes, que además logren mejoras sustanciales en el desempeño productivo y económico de quien la detenta. Motivo del presente trabajo, que tiene por objetivo proponer la integración de especies arbóreas asociadas a residuales agrícolas y agroindustriales (RAA) en la alimentación de rumiantes en el trópico. Se propone una especie nueva con potencial forrajero dadas sus características nutrimentales (*Ricinus communis*) y se discuten diferentes casos a nivel de rancho donde se mejora el desempeño productivo con la incorporación de especies arbóreas que permiten ajustes a los sistemas de alimentación del trópico seco asociados a los RAAs, tanto por la mejora en el desempeño productivo como por el favorable impacto económico, en particular en Colima, asociados al mercado, se establece como una alternativa viables para la ganadería tropical.

Palabras clave: *Ganadería, agroforestería, árboles, esquilmos, sustentabilidad.*

### INTRODUCCIÓN

La ganadería en México es una actividad económica con fuerte relación social, pues el 80 % de los ingresos de las unidades de producción rural se deben a la agricultura y ganadería, con limitado ingreso económico que induce a la pobreza (SAGARPA-FAO 2012). La ganadería es una actividad asociada a problemas de deforestación, erosión, pérdida de biodiversidad, degradación de pasturas y contaminación con gases de efecto invernadero (GEI) relacionados con el cambio climático (Nahed *et al.* 2014), todo esto aunado a una población demandante de alimentos, caracterizada por una dicotomía social en donde la mayoría de la población se ubica en el estrato de pobreza extrema en contraste con la concentración de la riqueza en unos cuantos (Esquivel 2015).

En el caso del México, este panorama socioeconómico

<sup>1</sup>Lecture presented at the 6th Congress of Tropical Animal Production 2018, Havana, Cuba

is not exempt from its association with a context of environmental problems (SEMARNAT 2012) where 42% of the national surface could be affected by water erosion with 17 states with damage in more than 50 % of its territory, among them: Guerrero (79.30 %), Puebla (76.60 %), Morelos (75.20 %), Oaxaca (74.60 %) and the State of Mexico (73.70 %). Also the mountain regions of Sierras Madre Oriental, Occidental and del Sur, as well as vast regions of Chiapas and the entities of the center of the country, would be at risk of presenting high and very high soil loss due to water erosion. With respect to potential wind erosion, it was estimated that 89 % of the national territory would be at risk of being affected. Practically 100 % of the territory of Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Sonora, Durango and Zacatecas, would have high and very high potential wind erosion, which agrees with the types of typical climates and vegetation in the arid and semi-arid zones of the country. In chemical degradation, the decrease of soil fertility predominates (92.70 % of national surface) and in physical degradation, compaction covers 68.20 % of the national surface. All of them are alarming indicators, especially due to their impact on agricultural surface, which compromises the sustainable development of the country (FAO 2016).

In this context, different authors including Nahed *et al.* (2014) and García-Barrios and González-Espinosa (2017) stated the importance of resilience of agricultural systems where their socio-environmental conditions are considered, and the options based on silvopastoral models (SSP) are a friendly strategy with the environment, socially fair, economically viable and with resilience characteristics. In particular for family-scale producers, it should be noted that resilience is defined, from the social field, as the recovery and improvement ability of the initial condition when an individual and its community are affected by adverse factors that threaten their own survival and/or balance. However, in the case of biological processes, which are non-linear dynamics, the processes through which ecosystems sustain themselves and endure disturbances are considered. Therefore, resilience is considered as the ability to maintain during time and space by taking advantage of continuous learning, transformation, renewal and evolution.

In this sense, the use of natural resources (Lara *et al.* 2016) and/or agricultural or agroindustrial wastes in an area or region that may be contaminants (Del Viento and Palma 2015), but integrated into the diet of ruminants, become rational elements of nutritional complementation, especially valuable in drought conditions.

Therefore, the purpose of this paper is to propose the integration of tree species associated with agricultural and agroindustrial wastes in the feeding of ruminants for the development of resilient systems in the dry tropics of Colima, Mexico.

no está exento de su asociación a un contexto de problemas ambientales (SEMARNAT 2012) en donde 42% de la superficie nacional podría resultar afectada por erosión hídrica con 17 entidades federativas con daño en más de 50 % de su territorio, entre ellas: Guerrero (79.30 %), Puebla (76.60 %), Morelos (75.20 %), Oaxaca (74.60 %) y el Estado de México (73.70 %). También las regiones montañosas de las Sierras Madre Oriental, Occidental y del Sur, así como vastas regiones de Chiapas y las entidades del centro del país, tendrían riesgo de presentar alta y muy alta pérdida de suelo por erosión hídrica. Con respecto a la erosión eólica potencial, se estimó que 89 % del territorio nacional estaría en riesgo de ser afectado. Prácticamente el 100 % del territorio de Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Sonora, Durango y Zacatecas, tendría alta y muy alta erosión eólica potencial, lo que concuerda con los tipos de vegetación y climas típicos en las zonas áridas y semiáridas del país. En el tema de la degradación química predomina la disminución de la fertilidad del suelo (92.70 % de la superficie nacional) y en la física, la compactación abarca el 68.20 % de la superficie nacional. Todos ellos indicadores alarmantes en especial por su impacto en la superficie agropecuaria, lo cual compromete el desarrollo sostenible del país (FAO 2016).

En este contexto, diferentes autores entre ellos Nahed *et al.* (2014) y García-Barrios y González-Espinosa (2017) plantean la importancia de la resiliencia de los sistemas agropecuarios en donde consideran sus condiciones socioambientales, donde las opciones basadas en modelos silvopastorales (SSP) son una estrategia amigable con el ambiente, socialmente justa, económicamente viable y con características de resiliencia. En particular para productores de escala familiar, cabe señalar que se defina como resiliencia desde el campo social la capacidad de recuperación y mejoramiento de la condición inicial cuando un individuo y su comunidad son afectados por factores adversos que atentan contra su propia sobrevivencia y/o equilibrio. Sin embargo, en el caso de los procesos biológicos, los cuales son dinámicos no lineales, se consideran los procesos a través de los cuales los ecosistemas se auto – mantienen y perduran frente a perturbaciones. Por lo tanto, se considera a la resiliencia como la capacidad de mantenerse en el tiempo y el espacio al aprovechar el aprendizaje, la transformación, la renovación y la evolución en forma continua.

En ese sentido, el aprovechamiento de los recursos naturales (Lara *et al.* 2016) y/o de los residuales agrícolas o agroindustriales en una zona o región que pueden ser contaminantes (Del Viento y Palma 2015), pero que integrados a la alimentación de rumiantes, se convierten en elementos racionales de complementación nutricional, especialmente valiosos en condiciones de sequía.

Por lo tanto, el motivo del presente trabajo tiene por objetivo proponer la integración de especies arbóreas asociadas a residuales agrícolas y agroindustriales en la alimentación de rumiantes para el desarrollo de sistemas resilientes en el trópico seco de Colima, México.

## CLIMATE CHANGE AND TROPICAL CATTLE REARING

The challenge of livestock in a tropical environment in the climate change scenario is the identification of adaptation and/or mitigation mechanisms. In the case of adaptation, it is defined as those initiatives and measures that reduce vulnerability of producers and their systems, before the actual or expected effects of this change.

One of the challenges for adaptation is the use of ecological and social resources and processes that allow its persistence, by timely cushioning adverse disturbances, prudently reorganizing and modifying when internal and external structural changes occur.

Under current conditions, agricultural and livestock systems face frequent and unpredictable disturbances, caused by factors such as adverse effects (direct or indirect), as a consequence of climate change and economic, financial and energy crises, among others.

The intergovernmental panel on climate change (IPCC 2014) pointed out that these effects can be random, irregular and, sometimes, surprising. They respond to a dynamic of short or medium term, and that, unfortunately, will continue to increase. Depending on their nature, they will continue to affect the systems at different levels of their organizational scale, from the level of biological function of an individual, up to the levels of organization of socioeconomic structures.

Disturbances in a system occur at different scales and can influence on:

1) its own general functioning or trajectory; 2) the functions and dynamics of any of its components independently and 3) the interrelationships among its components and its processes.

These effects are considered or classified as static (punctual), transitory or, on the contrary, dynamic and persistent in time and space.

Therefore, the vulnerability of these systems will depend on the magnitude and nature of risks of internal and external disturbances, and their adaptation ability and that of their components to be resilient, through the promotion of the natural and strategic combination of mechanisms of regulation or specific intervention actions.

Therefore, resilience ability considers the combination of individual or collective reserves of natural and human capital (Altieri and Nicholls 2009), which include qualities such as traditional knowledge, skills, abilities and social organization level in the productive systems.

Consequently, the design of resilient livestock systems considers:

a) Integration of local resources, b) incorporation of ancestral knowledge associated with the current one, c) decrease of negative externalities, and d)

## CAMBIO CLIMÁTICO Y GANADERÍA TROPICAL

El reto de la ganadería en ambiente tropical ante el escenario de cambio climático, es la identificación de mecanismos de adaptación y/o mitigación. En el caso de la adaptación, se define como aquellas iniciativas y medidas que reduzcan la vulnerabilidad de los productores y sus sistemas, ante los efectos reales o esperados de dicho cambio.

Uno de los retos para la adaptación, es el uso de los recursos y los procesos tanto ecológicos como sociales que permiten su persistencia, al amortiguar oportunamente las perturbaciones adversas, reorganizándose y modificándose prudentemente cuando se presentan cambios estructurales internos y externos.

En las condiciones actuales, los sistemas agrícolas y ganaderos se enfrentan a perturbaciones frecuentes e impredecibles, provocadas por factores tales como los efectos adversos (directos o indirectos), consecuencia del cambio climático y de las crisis económicas, financieras y energéticas, entre otros.

El panel intergubernamental de cambio climático (IPCC 2014), señaló que estos efectos pueden ser aleatorios, irregulares y, a veces, sorpresivos, responden a una dinámica de corto o mediano plazo, y que desafortunadamente, se seguirán acrecentando; en dependencia de su naturaleza, seguirán afectando a los sistemas en los diferentes niveles de su escala organizativa; desde el nivel de función biológica de un individuo, hasta los niveles de organización de estructuras socioeconómicas.

Las perturbaciones en un sistema ocurren en diferentes escalas y pueden influir en:

1) su propio funcionamiento general o trayectoria; 2) en las funciones y dinámicas de cualquiera de sus componentes de manera independiente y 3) en las interrelaciones entre sus componentes y sus procesos.

Dichos efectos se consideran o clasifican como estáticos (puntuales), transitorios o por el contrario, dinámicos y persistentes en tiempo y espacio.

Por ello, la vulnerabilidad de dichos sistemas dependerá de la magnitud y naturaleza de los riesgos a perturbaciones internas y externas, y de su capacidad de adaptación y la de sus componentes para ser resilientes, a través del fomento de la combinación natural y estratégica de mecanismos de regulación o de acciones específicas de intervención.

Por lo tanto, la capacidad de resiliencia considera la combinación de reservas individuales o colectivas de capital natural y humano (Altieri y Nicholls 2009), que incluyen cualidades como conocimiento tradicional, destrezas, habilidades y nivel de organización social en los sistemas productivos.

Consecuentemente, el diseño de sistemas ganaderos resilientes considera:

a) La integración de los recursos locales; b) La incorporación del conocimiento ancestral asociado

search for harmony through human relations with nature.

Therefore, for the development of resilient systems (Reinjtes *et al.* 1992), the following elements for its development are considered:

- Increase of biomass recycling, availability optimization and balanced flow of nutrients
- Assurance of favorable soil conditions for plants growth, particularly, through the management of organic matter and increase of soil biotic activity
- Increase of system efficiency due to the flow of solar radiation, air and water through microclimate management, harvesting with water and soil management through increase of coverage
- Specific and genetic diversification of agroecosystems in time and space
- Increase of biological interactions and synergies among biodiversity components by promoting key ecological processes and services of the system

### **CATTLE REARING SYSTEMS IN THE DRY TROPICS**

One of the tools that allows the increase of environmental services is agroforestry (Shibu 2009), effects that have different scale of impact, with benefits at ranch, landscape or region level and globally.

In this case, these principles are addressed at the producer and productive agricultural unit level, without forgetting that this impact will have an effect on other levels. In this regard, it is considered that, at the level of this scale, the following principles can be developed:

- Search for low use of external inputs, which, at the same time, implies the knowledge and promotion of the use of local resources
- Likewise, improvement of animal feeding through the use of this local resources, in particular of tree and /or shrub resources and of agricultural and agroindustrial wastes
  - Promotion of a clean production
  - Development of an organic cattle rearing
  - Proposal of a microenvironment for livestock, grass, soil, water, as well as microflora and microfauna
  - It is intended to avoid grass degradation
  - Prevent erosion
  - The increase of trees with different purposes in cattle rearing systems

For the above described, elements that dynamizes livestock and its adaptation ability or modification over time are: versatility, high level of diversification and complementarity with the other activities, which allow the system to endure climatic and economic changes as a result of their lower dependence on individual productive factors, as well as their low investment level.

Livestock promotes direct economic income, benefits

al actual; c) La disminución de las externalidades negativas, y d) La búsqueda de la armonía a través de las relaciones humanas con la naturaleza.

Por lo tanto, para el desarrollo de sistemas resilientes (Reinjtes *et al.* 1992) consideran los siguientes elementos para su desarrollo:

- Aumento en el reciclado de biomasa, optimización de la disponibilidad y flujo balanceado de nutrimentos
- Aseguramiento de las condiciones favorables del suelo para el crecimiento de las plantas; particularmente, a través del manejo de la materia orgánica y aumento de la actividad biótica del suelo
- Incremento de la eficiencia del sistema debido al flujo de la radiación solar, el aire y el agua mediante el manejo del microclima, cosecha de agua y manejo de suelo a través del aumento de la cobertura
- Diversificación específica y genética de los agroecosistemas en tiempo y espacio
- Incremento de las interacciones biológicas y de las sinergias entre los componentes de la biodiversidad al promover procesos y servicios ecológicos claves del sistema

### **SISTEMAS GANADEROS EN EL TRÓPICO SECO**

Una de las herramientas que permite el incremento de los servicios ambientales es la agroforestería (Shibu 2009), efectos que tienen diferente escala de impacto, con beneficios a nivel de rancho, del paisaje o la región y a nivel global.

En el presente caso, se abordan dichos principios a nivel del productor y de unidad agropecuaria productiva, sin olvidar que dicho impacto tendrá efecto en otros niveles. Al respecto, se considera que en el nivel de esta escala, se pueden desarrollar los siguientes principios:

- La búsqueda de bajo uso de insumos externos, lo cual a la vez implica el conocimiento y promoción del uso de recursos locales
- Asimismo, el mejoramiento de la alimentación de los animales a través del aprovechamiento de dichos recursos locales, en particular de los recursos arbóreos y/o arbustivos y de los residuales agrícolas y agroindustriales
  - La promoción de una producción limpia
  - El desarrollo de una ganadería orgánica
  - La propuesta de un microambiente para el ganado, el pasto, el suelo, el agua, así como la microflora y la microfauna
    - Se pretende evitar la degradación de las pasturas
    - Impedir la erosión
    - El incremento de los árboles con diferentes propósitos en los sistemas ganaderos

Por lo antes descrito, un elemento que dinamiza la ganadería y su capacidad de adaptación o modificación en el tiempo son: la versatilidad, el alto nivel de diversificación y complementariedad con las restantes actividades, atributos que le permiten soportar al sistema

environmental sustainability through the use of available resources. Therefore, livestock is an asset that favors the reduction of vulnerability of exploitation and poverty, through a strategy of minimum cost, with levels of efficiency and technological innovation according to their condition of minimum investment, which must be analyzed and evaluated to achieve the desired impact on farms.

However, one of the characteristics of dry tropics is its marked seasonality, a phenomenon that limits quantity and quality of ruminant feeding, with production restrictions that induce low productive indicators as shown by multiple studies in the tropical area of Colima, Mexico (Cervantes 1988, Palma *et al.* 1993, Esperón 2000 and González 2003), that means that there is a stagnation of tropical cattle rearing, with slow changes in family scale producers, in the neoliberal economic context.

This phenomenon can be reversed through the synchronization of available local inputs (residues of reject banana, agroindustrial residues of lemon, coffee, mango, coconut, and papaya). At that critical time, they also described some fruits of tree species that would potentiate tropical bovine cattle rearing (Palma and González-Rebeles 2018), such as *Parmentiera edulis*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Guazuma ulmifolia*, *Caesalpinia coriaria*, *Senna atomaria*, *Vachelia pennatula*, *Crecentia alata* and *Jacaratia mexicana* and that would be an important complement for the use of agricultural wastes such as the tip of cane (Lara 2015 and Ramírez 2017).

Therefore, this document proposes that tropical cattle farming is resilient, due to the ability of the system to absorb disturbances, maintaining its functions fundamentally without major changes, as well as for renewal and reorganization. It depends on natural resources (soil, water, and biodiversity) and on the level of knowledge, learning ability and management of human groups and their institutions (Astier *et al.* 2012).

### **DISCIPLINARY, MULTIDISCIPLINARY AND TRANSDISCIPLINARY VISION IN TROPICAL LIVESTOCK**

From discipline, our study object is ruminant nutrition, maybe milk or meat production in tropical bovine systems. However, through transdisciplinarity, it interacts with health, reproduction, genetics, management, economy, that is, animal husbandry in general. But because of the complexity of the system, the interaction of ecological, social and economic processes is necessary and indissoluble.

Above all, due to the fact of adding ecological elements like trees in production systems after their elimination, where, despite producers recognize their multiple functions and favorable interactions (Palma and Flores 1997), their inclusion for livestock purposes

los cambios climáticos y económicos como consecuencia de su menor dependencia de factores productivos individuales, así como su bajo nivel de inversión.

La ganadería favorece el ingreso económico directo, beneficia la sustentabilidad ambiental a través del uso de los recursos disponibles. Por lo tanto, el ganado es un activo que favorece la reducción de la vulnerabilidad de la explotación y la pobreza, a través de una estrategia de mínimo costo, con niveles de eficiencia y de innovación tecnológica acordes a su condición de mínima inversión, los cuales deben ser repensados, analizados y evaluados para lograr el impacto deseado en los ranchos.

Sin embargo, una de las características del trópico seco es su marcada estacionalidad, fenómeno que limita en cantidad y calidad la alimentación de los rumiantes, con restricciones productivas que inducen bajos indicadores productivos como lo muestran múltiples estudios en el área tropical de Colima, México (Cervantes 1988, Palma *et al.* 1993, Esperón 2000 y González 2003), es decir existe un estancamiento de la ganadería tropical, con cambios lentos en los productores de escala familiar, en el contexto económico neoliberal.

En donde este fenómeno se puede revertir a través de la sincronización de insumos locales disponibles (residuales de banano de rechazo, agroindustriales de limón, de café, mango, de cocotero, papaya), en esa época crítica también describieron algunos frutos de especies arbóreas que potencializarían la ganadería bovina tropical (Palma y González-Rebeles 2018), entre ellos *Parmentiera edulis*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Guazuma ulmifolia*, *Caesalpinia coriaria*, *Senna atomaria*, *Vachelia pennatula*, *Crecentia alata* y *Jacaratia mexicana* y que serían un complemento importante para el aprovechamiento de residuales agrícolas como la punta de caña (Lara 2015 y Ramírez 2017)

Por ello, en este documento se plantea que la ganadería bovina tropical es resiliente, por la capacidad del sistema para absorber perturbaciones manteniendo sus funciones fundamentalmente sin grandes alteraciones, así como para renovarse y reorganizarse. Es dependiente tanto de los recursos naturales (suelo, agua, y biodiversidad) como del nivel de conocimiento, de la capacidad de aprendizaje y de la gestión de los grupos humanos y de sus instituciones (Astier *et al.* 2012).

### **VISIÓN DISCIPLINARIA, MULTIDISCIPLINARIA Y TRANSDISCIPLINARIA EN LA GANADERÍA TROPICAL**

Desde la disciplina nuestro objeto de estudio es la nutrición de rumiantes, tal vez la producción de leche o carne en sistemas bovinos tropicales, sin embargo, a través de la transdisciplina se interactúa con la sanidad, la reproducción, la genética, el manejo, la economía, es decir, la zootecnia en general. Pero por la complejidad que se tiene en el sistema, es necesario e indisoluble la interacción de los procesos ecológicos, sociales y económicos.

Sobre todo, por el hecho de sumar elementos

has limitations (García-Barrios and González-Espinosa 2017).

On the other hand, when a transdisciplinarity approach is applied, the participation of farmers in decision-making, their relationships with the environment and the social dynamics that occur in these territories was recognized, originating heterogeneous results in silvopastoral systems (SPS). Out of the outstanding results in tropical cattle rearing, the establishment of grazing or forages species such as *Cenchrus purpureum* cv. Cuba CT-115 and the protein banks with *Gliricidia sepium* (García-Barrios and González-Espinosa, 2017).

### **TREES, AGRICULTURAL AND AGRO-INDUSTRIAL BY-PRODUCTS (AAB)**

In the last two decades, different studies characterize tree species for forage purposes in Mexico, as in the case of Colima (Palma 2005, Román and Palma 2007 and Román *et al.* 2016), Chiapas (Pinto *et al.* 2004, 2010), Michoacán (González-Gómez *et al.* 2006), Veracruz (Bautista-Tolentino *et al.* 2011) and Yucatán (Ku-Vera *et al.* 1999), to mention a few examples, where there is a potential beyond the use of *Leucaena leucocephala* as the most studied and used species in a productive way.

Therefore, biodiversity is a characteristic of Mexico and within it, its arboreal richness allows the development of livestock agroforestry with multiple and innovative options (Palma *et al.* 2011). This study shows the diversity of systems and tree species in livestock systems, related to the diversity of agroecological regions and, in particular, to the tropical area.

In this context, there are multiple examples that have potential to be explored as detonating elements of silvopastoral systems, as in the case of *Tithonia diversifolia* (Mejía-Díaz *et al.* 2017 and Ruiz *et al.* 2018), who study their agronomic characteristics as nutritional feeding and their impact on animal production that adapt to climate change. In this regard, the use of *Ricinus communis* leaf has been proposed as an alternative forage in the feeding of ruminants, a species with great plasticity and high adaptation to different altitudinal levels, as well as tolerance to adverse conditions of soil quality and water requirements (Del Viento *et al.* 2014). Table 1 shows the nutritional values of crude protein, estimation of the energy value and *in situ* digestibility of this species (Ramírez *et al.* 2017), compared to alfalfa and sugarcane tip.

ecológicos como son los árboles en los sistemas de producción después de su eliminación, en donde a pesar de que los productores reconocen sus múltiples funciones y favorables interacciones (Palma y Flores 1997), su incorporación con fines ganaderos tiene limitantes (García-Barrios y González-Espinosa 2017).

Por otra parte, cuando se aplica un enfoque de transdisciplinaria, se reconoció la participación de los ganaderos en la toma de decisiones, sus relaciones con el entorno y la dinámica social que se presentan en estos territorios, dando lugar a resultados heterogéneos en sistemas silvopastoriles (SSP). De los resultados sobresalientes en la ganadería tropical se considera el establecimiento de forrajes de corte o pastoreo como el *Cenchrus purpureum* var. Cuba CT-115 y los bancos proteicos con *Gliricidia sepium* (García-Barrios y González-Espinosa, 2017).

### **ÁRBOLES, SUBPRODUCTOS AGRÍCOLAS Y AGROINDUSTRIALES (SAA)**

En las últimas dos décadas diferentes trabajos caracterizan las especies arbóreas con fines forrajeros en México, como en el caso de Colima (Palma 2005, Román y Palma 2007 y Román *et al.* 2016), Chiapas (Pinto *et al.* 2004, 2010), Michoacán (González-Gómez *et al.* 2006), Veracruz (Bautista-Tolentino *et al.* 2011) y Yucatán (Ku-Vera *et al.* 1999), por mencionar algunos ejemplos, en donde existe un potencial más allá del uso de *Leucaena leucocephala* como la especie más estudiada y utilizada en forma productiva.

Por lo tanto, la biodiversidad es una característica de México y dentro de ella, su riqueza arbórea permite el desarrollo de la Agroforestería Pecuaria con opciones múltiples e innovadoras (Palma *et al.* 2011), trabajo que muestra la diversidad de sistemas y especies arbóreas en los sistemas ganaderos, relacionada con la diversidad de regiones agroecológicas y en particular con el área tropical.

En este contexto, existen múltiples ejemplos que tiene potencial de ser explorados como elementos detonadores de los sistemas silvopastoriles, como en el caso de *Tithonia diversifolia* (Mejía-Díaz *et al.* 2017 y Ruiz *et al.* 2018), quienes estudian sus características agronómicas como nutrimentales y su impacto en la producción animal que se adapten al cambio climático. En ese sentido, se ha propuesto el empleo de la lámina de *Ricinus communis* como forraje alternativo en la alimentación de rumiantes, especie con gran plasticidad y alta adaptación a diferentes pisos altitudinales, así como tolerancia a condiciones adversas de calidad de suelo y requerimientos hídricos (Del Viento *et al.* 2014). En la tabla 1, se muestran los valores nutrimentales de proteína cruda, estimación del valor energético y de digestibilidad *in situ* de esta especie (Ramírez *et al.* 2017) comparado con alfalfa y punta de caña de azúcar.

Table 1. Chemical composition of *Ricinus communis* leaf at three ages of regrowth, alfalfa and sugar cane tip

	Age (days) <i>Ricinus communis</i>			Sugar	
	60	120	180	Alfalfa	cane tip
Dry Matter (%)	91.2	87.7	89.7	90.5	92.6
Crude Protein (%)	30.7	32.0	32.2	17.9	7.7
Ash (%)	12.0	10.3	11.4	9.3	9.5
Ether extract (%)	3.6	3.7	3.4	1.1	1.0
Nitrogen free extract (%)	43.9	41.6	42.7	43.4	46.6
Total digestible nutrients (%)	76.3	76.6	76.2	69.7	67.8
Neutral detergent fiber (%)	18.5	25.9	25.3	40.0	59.6
Acid detergent fiber (%)	17.0	21.9	21.2	31.9	50.7
*ME (Mcal/kg DM)	2.75	2.77	2.75	2.52	2.45
<i>In situ</i> degradability of DM (%)	97.0	95.3	94.5	92.0	38.9

\*ME=Metabolizable energy estimated from the total digestible nutrients

### ASPECTS OF THE REVIEW OF TECHNICAL OPTIONS FOR THE REDUCTION OF GAS EMISSIONS OTHER THAN CO<sub>2</sub>

In the development of scenarios for bovine meat production in Mexico for cow-calf and for the double purpose system, it is proposed to improve the productive performance in terms of the percentage of weaning as well as its weight and age, economic tools that detonate these systems (Palma 2014), also as a strategy of adaptation and mitigation to climate change.

In this regard, FAO showed through a review on the subject, that, from the perspective of enteric fermentation, manure management and animal husbandry, the potential of available strategies to mitigate greenhouse gases (GHG) other than CO<sub>2</sub>, such as the use of food additives and their reproductive management (Gerber *et al.* 2013).

Out of the strategies indicated by Gerber *et al.* (2013), those that, from a silvopastoral or RAA management approach, could be implemented in our conditions and with applicability in all the productive regions of the world, such as the dietary protein balance, the inclusion of dietary lipids, the inclusion of concentrates based on their availability and their market prices, grazing management, supplementation or strategic supplementation of low quality feed and precision feeding. This document emphasizes achievements for temperate regions (table 2).

On the other hand, these same authors stated different strategies from animal handling point of view, in order to achieve mitigation of greenhouse gases other than CO<sub>2</sub> (Gerber *et al.* 2013). Selected categories were based on potential impacts in Mexico and, particularly, their possibility of application with silvopastoral systems and the use of RAA (table 3)

### ASPECTOS DE LA REVISIÓN DE LAS OPCIONES TÉCNICAS PARA LA REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DIFERENTES AL CO<sub>2</sub>

En el desarrollo de escenarios para la producción de carne de bovinos en México tanto para la vaca - cría como para el sistema doble propósito, se plantea mejorar el desempeño productivo en cuanto al porcentaje de destete así como su peso y edad al mismo, herramientas económicas que detonen estos sistemas (Palma 2014), además como estrategia de adaptación y mitigación al cambio climático.

En este sentido la FAO mostró a través de una revisión sobre el tema, que desde la perspectiva de la fermentación entérica, la gestión del estiércol y la crianza de los animales, el potencial de estrategias disponibles de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) diferentes al CO<sub>2</sub>, tales como el uso de aditivos alimenticios y su manejo reproductivo (Gerber *et al.* 2013).

De las estrategias señaladas por Gerber *et al.* (2013), se anotan aquellas que desde un enfoque silvopastoral o de manejo de RAA pudieran ser implementadas en nuestras condiciones y con aplicabilidad en todas las regiones productivas del mundo, como el balanceo de proteína dietaria, la inclusión de lípidos dietéticos, la inclusión de concentrados basados en su disponibilidad y sus precios del mercado, la gestión de pastoreo, la suplementación o complementación estratégica de piensos de baja calidad y la alimentación de precisión. En ese documento se enfatizan los logros para las regiones templadas (tabla 2).

Por otra parte, estos mismos autores plantearon diferentes estrategia desde el punto de vista del manejo de los animales para lograr la mitigación de los gases de efecto invernadero diferentes al CO<sub>2</sub> (Gerber *et al.* 2013). Las categorías elegidas fueron seleccionadas basado en los impactos potenciales que pueden tener en México y en particular su posibilidad de aplicación con los sistemas silvopastoriles y uso de los RAA (tabla 3).

Table 2. Feed additives and feeding strategies that offer mitigation possibilities of greenhouse gases other than CO<sub>2</sub> (Gerber *et al.* 2013)

Category <sup>1</sup>	Potential effect of CH <sub>4</sub> mitigation <sup>2</sup>	Long term effect	Efficiency <sup>3</sup>	Environmental or animal welfare <sup>4</sup>	Recommended <sup>5</sup>	Aplicability in regions <sup>6</sup>
Nitrate electron accepters	High	No?	Yes	?	Yes?	All
Bioactive compounds condensed tannins <sup>7</sup>	Low	No?	Yes	Yes	Yes?	All
Defaunation	Low	No	?	Yes	No	Does not apply
Lipids	Medium	No?	Yes	Yes	Yes? <sup>8</sup>	All
Use of concentrates	From low to medium	Yes	Yes	Yes	Yes? <sup>9</sup>	All
Improvement of quality and forage management	From low to medium	Yes	Yes	Yes	Yes	All
Grazing management	Low	Yes	Yes	Yes	Yes? <sup>10</sup>	All
Low quality food processing	High	Yes	Yes	Yes	Yes	All
Herd reduction	Medium	Yes	Yes	Yes	Yes	All
Macro-complementation	Does not apply	No	Yes?	Yes	Yes	All
Micro-complementation						
Precision feeding and food analysis	From low to medium	Yes	Yes?	Yes	Yes <sup>11</sup>	All

<sup>1</sup> Mitigation strategies in this table are applicable to all ruminants

<sup>2</sup> High = mitigation effect  $\geq$  30 percent; Medium = mitigation effect from 10 to 30 percent; Low = mitigation effect  $\leq$  10 percent. Mitigation effects refer to change percentage regarding a “standard practice”, that is, a control study used for comparing and based on the combination of research data and the judgment of the authors of this study.

<sup>3</sup> Efficiency is determined on the basis of: potential of GHG mitigation, effect of food intake (the non-negative effect is beneficial) and effect on animal productivity (the non-negative effect or improvement is beneficial).

<sup>4</sup> Based on data of EPA, FDS, or expert opinion.

<sup>5</sup> Based on available research or on the lack of sufficient research

<sup>6</sup> Regions: All = all regions; EU = Europe, AS = Asia, AF = Africa, NA = North America; SA = South America; OC = Oceania.

<sup>7</sup> Toxic effects when CP is marginal or inadequate in the diet or when condensed tannins are astringents and in high concentrations. However, with adequate CP in the food, some condensed tannins may have a wide range of beneficial effects.

<sup>8</sup> Lipids are generally efficient in reducing the production of enteric CH<sub>4</sub>. They are recommended when their use is economically viable (the oil-rich byproducts of biofuel industry, for example). Its potential negative effect on feed intake, fiber digestibility, rumen function, milk fat content and overall animal productivity should be considered. The recommended inclusion rate in ruminant diets is 6 to 7 percent (total fat) of DM of the diet. In the absence of mechanisms that encourage the reduction of enteric CH<sub>4</sub> emissions, economic feasibility of supplementing diets with edible lipids is questionable.

<sup>9</sup> Although it is recommended (direct reduction of enteric CH<sub>4</sub> emissions, or indirect, through increased animal production), the application of this mitigation practice will depend to a large extent on the availability of feed.

<sup>10</sup> Not very consistent results, but recommended based on the fact that an improvement in pasture quality should reduce CH<sub>4</sub> emissions per unit of food intake and of animal product.

<sup>11</sup> Even if the direct mitigation effect of CH<sub>4</sub> is uncertain, precision/balanced feeding and accurate food analysis may increase animal productivity and feed efficiency and will improve farm profitability (thus having an effect of indirect mitigation of CH<sub>4</sub> emissions and enteric N<sub>2</sub>O and manure).



Table 3. Strategies of animals management that offer opportunities of mitigation of greenhouse effect gases other than CO<sub>2</sub> (Gerber *et al.* 2013)

Category <sup>1</sup>	Species <sup>1</sup>	Effect on productivity	Potential effect of CH <sub>4</sub> mitigation <sup>2</sup>	Potential effect of N <sub>2</sub> O mitigation <sup>2</sup>	Efficiency <sup>3</sup>	Recommended <sup>4</sup>	Applicability in regions <sup>5</sup>
Increase of productivity	AS	Increase	High <sup>6</sup>	High <sup>6</sup>	Yes	Yes	All
Animal health	AS	Increase	Low?	?	Yes	Yes	All
Mortality reduction	AS	Increase	Low?	Low?	Yes	No	All
Reduction of slaughtering age and reduction of feeding days	AS7	None	Medium	Medium	Yes	Yes	All

<sup>1</sup>Indicates uncertainty due to limited research or lack of data, inconsistent or variable results, or absence or insufficiency of data on the persistence of the effect

<sup>2</sup>BL = milk cattle; BC = beef cattle (bovines include *Bos taurus* and *Bos indicus*); CE = pigs; AS = all species

<sup>3</sup>High = mitigation effect  $\geq 30$  percent; Medium = mitigation effect of 10 to 30 percent; Low = mitigation effect  $\leq 10$  percent. Mitigation effects refer to change percentage regarding a "standard practice," that is, a control study used for comparison and is based on the combination of research data and the judgment of the authors of this document.

<sup>4</sup>Determined based on: GHG mitigation potential and/or productivity effect (non-negative effect or improvement is beneficial)

<sup>5</sup>Based on available research or on lack of sufficient research

<sup>6</sup>Regions: All = all regions; EU = Europe, AS = Asia, AF = Africa, NA = North America, SA = South America; OC = Oceania.

<sup>7</sup>Productivity increase will have a powerful effect on the mitigation of GHG emissions, but the level of effect will depend on several factors (baseline productivity, type of animal, type of production, quality and availability of food, genetic constitution of the herd, etc.).

<sup>8</sup>Only meat animals

### ADAPTATION AND MITIGATION TO CLIMATE CHANGE FOR A RESILIENT TROPICAL LIVESTOCK IN MEXICO THROUGH SILVOPASTORAL SYSTEMS (SPS)

Adaptation is defined as the ability of systems to reproduce themselves for a reasonable time. They have the possibility of being properly modified to maintain their functionality, when the scenario is altered.

### ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA UNA GANADERÍA TROPICAL RESILIENTE EN MÉXICO MEDIANTE SISTEMAS SILVOPASTORILES (SSP)

La adaptación se define como la capacidad de los sistemas para reproducirse a sí mismo durante un tiempo razonable, tienen la posibilidad de modificarse oportunamente para mantener su funcionalidad, cuando el escenario se altera.

Therefore, adaptation considers all those initiatives and measures used to reduce vulnerability of society and susceptibility of natural systems in front of the real or expected effects of modification of such scenarios.

In response to the negative effects associated with the activities of bovine cattle grazing, the promotion of an environmentally sustainable reconversion is a priority, as a different production strategy that limits the transformation of ecosystems and generates or maintains environmental services.

This strategy implies the recognition of ecosystemic services that can be obtained through diversification of domestic animals in production, combination of feeding through the use of native and cultivated natural or exotic plant species, control of stocking rate according to the potential of ecosystems, mitigation of negative impacts on soils, as well as integration with other local and regional production systems, just for mentioning some aspects (Anta and Carabias 2008 and Balvanera and Cotler 2009).

The SPS and the use of biodiversity is an alternative proposal to conventional production of single-crops where different wild species survive in landscapes for conventional production that may be included in SPS, which allows the conservation of basic characteristics of structure and function of this agroecosystems with a consequent higher proportion of environmental services (Primak *et al.* 2001).

One of the most recent approaches with greater success is agroforestry with its respective variants and combinations of systems (for example, agroforestal, silvopastoral and agrosilvopastoral systems). These systems combine agricultural polycultures, forestry use and cattle management with approaches that promote higher structural complexity in paddocks through life fences, alley pastures, tree maintenance in paddocks, protein and energy banks (management of plots of trees, shrubs and forage legumes), secondary plant grazing and garden weeds, combination of groups of domestic herbivorous species in grazing, among other management techniques. These systems go from simple grazing of secondary vegetation (mountain grazing or grasslands), grazing in forestry plantations, up to system of high density with legumes and improved grasses, where tree richness is an essential element in the development of these systems, as it was reported by Palma *et al.* (2011) and by different species that can be used in the design of these systems (Palma and González-Rebeles 2018).

In the case of silvopastoral systems (SPS) as considered as plastic systems, due to their ability of modifying their structure, with adjustments to new goals. Plasticity is defined as the ability of adopting and changing shapes. In this sense, the SPS respond to current changes and to limitations of the environment,

Por lo tanto, la adaptación considera todas aquellas iniciativas y medidas encausadas para reducir la vulnerabilidad de la sociedad y la susceptibilidad de los sistemas naturales, ante los efectos reales o esperados por modificación de dichos escenarios.

En respuesta a los efectos negativos asociados con las actividades de la ganadería bovina en pastoreo; se hace prioritario el fomento de una reconversión ambientalmente sostenible, como una estrategia diferente de producción que limite la transformación de los ecosistemas y genere o mantenga los servicios ambientales.

Dicha estrategia implica el reconocimiento de los servicios eco sistémicos que se pueden obtener a través de: la diversificación de los animales domésticos en producción, la combinación en la alimentación mediante el uso de especies vegetales nativas y cultivadas naturales o exóticas, el control de la carga animal de acuerdo con el potencial de los ecosistemas, la mitigación de los impactos negativos en los suelos, así como la integración con otros sistemas de producción a nivel local y regional, por mencionar algunos (Anta y Carabias 2008 y Balvanera y Cotler 2009).

Los SSP y el uso de la biodiversidad es una propuesta alternativa a la producción convencional de monocultivos en donde diferentes especies silvestres sobreviven en paisajes de producción convencional que pueden ser incorporados a los SSP, lo que permite la conservación de características básicas de estructura y función de dichos agroecosistemas con una consecuentemente mayor proporción de servicios ambientales (Primak *et al.* 2001).

Uno de los enfoques de producción recientes con mayor éxito, es la agroforestería con sus respectivas variantes y combinaciones de los sistemas (por ejemplo, agroforestales, silvopastoriles, agrosilvopastoriles). Estos sistemas combinan policultivos agrícolas, aprovechamiento forestal y manejo del ganado con enfoques que promueven mayor complejidad estructural en potreros, a través de cercas vivas, pasturas en callejones, mantenimiento de árboles en potreros, bancos de proteína y energía (manejo de parcelas de árboles, arbustivos y leguminosas forrajeras), pastoreo de vegetación secundaria y de maleza en huertos, combinación de manadas de especies herbívoras domésticas en pastoreo, entre muchas otras técnicas de manejo. Estos sistemas van desde el simple pastoreo de la vegetación secundaria (pastoreo en el monte o agostaderos), pastoreo en plantaciones forestales y frutales, hasta sistemas tecnificados de alta densidad con especies de leguminosas y gramíneas mejoradas, en donde la riqueza arbórea es un elemento medular en el desarrollo de dichos sistemas como fue recopilado por Palma *et al.* (2011) y por diferentes especies que pueden ser utilizadas en el diseño de dichos sistemas (Palma y González-Rebeles 2018).

En el caso de los sistemas silvopastoriles (SSP) son considerados como sistemas plásticos, por la capacidad de modificación de su estructura, además con ajustes a nuevas finalidades u objetivos. La plasticidad se comprende como la facultad de adoptar formas y la capacidad de

with high resilient ability as it was stated by Nahed *et al.* (2014), being an effort of humans for imitating nature.

In addition, SPS provide different strategies that allow mitigation of GHG through several mechanisms that combine design, density and use of biodiversity, among other factors that generate favorable impact on the environment. In this respect, table 4 shows different positive effects generated in productive systems, through implementation of silvopastoral systems in economic, social and environmental aspects in tropical areas (Palma *et al.* 2000, Ávila-Foucat and Rebollo-Fernández 2014 and González 2013, 2016).

The SPS in Mexico have an important function in the proposals of adaptation and mitigation to climate

cambio de forma. En ese sentido, los SSP responden a las modificaciones actuales y a las limitaciones del medio, con alta capacidad resiliente como fue discutido por Nahed *et al.* (2014), siendo un esfuerzo del hombre por imitar lo que la naturaleza realiza.

Además, los SSP proveen diferentes estrategias que permiten la mitigación de los GEI, mediante múltiples mecanismos que combinan el diseño, la densidad y el uso de la biodiversidad, entre otros factores que generan impactos favorables en el ambiente. Al respecto, en la tabla 4, se resumen diferentes efectos positivos generados en los sistemas productivos a través de la implementación de los sistemas silvopastoriles tanto en aspectos económicos, sociales y ambientales en el área tropical (Palma *et al.* 2000, Ávila-Foucat and Rebollo-Fernández 2014 y González 2013, 2016).

Table 4. Economic, social and environmental aspects obtained with the use of silvopastoral systems

Economic	Social	Environmental
- Increase of production due to shadow generated for cattle	- Guarantee food security	- Soil protection
- Source of forage resources for cattle	- Improve life quality	- Nutrient recycling
- Reduction of dependence and external inputs expenses	- Have more identification of the family with the farm	- Develop an ecological restoration of degraded pastures
- Superior stability of production	- Reduce property sales	- Protection of water sources
- Diversification of incomes in cattle farms	- Reduce migration to city centers	- Allow carbon sequestration
- Reduction of economic risks and of vulnerability to climate change	- Increase job offers	- Reduction of forest cutting
- Increase of productivity and profitability of farms		- Biodiversity conservation
		- Landscape beauty
		- Superior stability to climate change

change, as, for instance, through high density sowing, which increases carbon fixation (Anguiano *et al.* 2013), nutrient recycling (Anguiano 2012), encouraging of edaphic fauna (Palma y Anguiano 2015), as well as the use of foliage and fruits with antimethanogenic activity (Ku-Vera *et al.* 2016), to increase digestibility of rations (Román *et al.* 2008) and in the generation of better animal welfare (Galindo *et al.* 2013, Améndola *et al.* 2016, 2018 and Mancera *et al.* 2018).

### CARBON SEQUESTRATION

Information on C sequestration in SPS in Mexico, demonstrated by Anguiano *et al.* (2013), in a high density silvopastoral system of *Leucaena leucocephala* associated to coconut trees and *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT 115, showed levels of 101.19, 109.73, 122.00 and 128.62 t C+ha<sup>-1</sup>year<sup>-1</sup> for systems with 0, 40, 60 and 80 thousand plants of leucaena ha<sup>-1</sup>, respectively where tree component, in different studied treatments, provided from 85 up to 98 % of fixed C+. Previous results were lower to those described in

Los SSP en México tienen un papel preponderante en las propuestas de adaptación y mitigación al cambio climático, como por ejemplo a través de la siembra de alta densidad que incrementa la fijación de carbono (Anguiano *et al.* 2013), el reciclaje de nutrientes (Anguiano 2012), el fomento de la macrofauna edáfica (Palma y Anguiano 2015), así como el uso de follaje y de frutos con actividad antimetanogénica (Ku-Vera *et al.* 2016), para incrementar la digestibilidad de las raciones (Román *et al.* 2008) y en la generación de mejor bienestar animal (Galindo *et al.* 2013, Améndola *et al.* 2016, 2018 y Mancera *et al.* 2018).

### SECUESTRO DE CARBONO

La información sobre captura de C en SSP en México, mostrada por Anguiano *et al.* (2013), en un sistema silvopastoril de alta densidad de *Leucaena leucocephala* asociado a cocotero y pasto *Pennisetum purpureum* var. Cuba CT 115, registraron niveles de 101.19, 109.73, 122.00 y 128.62 t C+ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> para los sistemas con 0, 40, 60 y 80 mil plantas de leucaena ha<sup>-1</sup>, respectivamente en donde el componente arbóreo en los

a deciduous forest in Huatusco, Veracruz, México, where 268.38 t C+ha<sup>-1</sup> were obtained in the aerial biomass. These values may be attributed to forest components, plus the dasometric component of trees (Torres-Rivera *et al.* 2011). On the other hand, these same authors indicated values of 2.86 and 1.78 t C+ha<sup>-1</sup> for the silvopastoral system with low density of tree component and conventional grazing, respectively. In addition, this study deals with C+ within the litter and soil. Solorio *et al.* (2011), in the area of Michoacán with traditional systems of star grass (*C. plectostachyus*) in monoculture, demonstrated values of 120 t C+ha<sup>-1</sup>, compared to 220 t C+ha<sup>-1</sup> in intensive silvopastoral system (*L. leucocephala/P. maximum*).

Also, Callo-Concha *et al.* (2004), estimated the accumulation of carbon in the aerial biomass of some agroforestry systems (AFS) of Veracruz, Mexico, during a production cycle. The systems used were: 1) citrus associated with banana; 2) citrus associated with coffee; 3) citrus associated with coffee and banana; 4) citrus with sheep grazing; 5) citrus associated with cover crops and 6) monoculture pasture. Results suggest that citrus fruits contribute between 65 and 8 % of tree carbon. Likewise, the highest contribution of total carbon is generated by tree biomass. In four out of the five evaluated AFS, their contribution varies between 95.7 and 97.8 %. The system based on citrus and Pelibuey sheep had the highest carbon accumulation with 63.4 to 94.7 t • ha<sup>-1</sup> and the lowest was pasture with 1.4 to 2.1 t • ha<sup>-1</sup>.

In a recent review of Mexican authors on carbon fixation in the southeast of our country (Alayón *et al.* 2016), several baseline studies are compiled indicating that the highest value is obtained in systems with trees scattered in paddocks (88.89 Mg C ha<sup>-1</sup>), followed by live fence systems (87.5 Mg C ha<sup>-1</sup>) and finally in monoculture pastures (60.62 Mg C ha<sup>-1</sup>). The use of live fences with *Gliricidia sepium* had a carbon storage in the soil of 20.44 Mg C ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, compared to 19.22 Mg C ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> of pastures in single crops of extensive livestock.

### ENTERIC METHANE MITIGATION

In a recent review on the state of the art of enteric methane emission for Latin America, Benaouda *et al.* (2017) noted that, in the case of Mexico, the estimation of emission factors and inventories are limited and recent.

Studies conducted by Castelán *et al.* (2014) and Ku-Vera *et al.* (2016) are pioneers in Mexico regarding quantification of methane gas in respiratory chambers, and the second authors use forage and tropical fruits and, in the first case, they work with foliage, mostly from temperate zones, besides taking charge of the inventory of greenhouse gases for ruminants in Mexico.

Also, Solorio *et al.* (2011) reported decreased

diferentes tratamientos estudiados aportó de 85 hasta 98% del C+ fijado. Los resultados anteriores fueron menores a lo descrito para el bosque caducifolio en Huatusco, Veracruz, México; en donde se obtuvieron 268.38 t C+ha<sup>-1</sup> en la biomasa aérea, estos valores se pueden atribuir a los componentes del bosque, aunado al desarrollo dasométrico de los árboles (Torres-Rivera *et al.* 2011). Por otro lado, estos mismos autores indicaron valores de 2.86 y 1.78 t C+ha<sup>-1</sup> para el sistema silvopastoril con baja densidad del componente arbóreo y el potrero convencional, respectivamente. Además, en este estudio se aborda el C+ presente en la hojarasca y el suelo. Por otra parte, Solorio *et al.* (2011) demostraron para el área de Michoacán en sistemas tradicionales de pasto estrella (*C. plectostachyus*) en monocultivo valores de 120 t C+ha<sup>-1</sup> comparado con 220 t C+ha<sup>-1</sup> en sistema silvopastoril intensivo (*L. leucocephala/P. maximum*).

Asimismo, Callo-Concha *et al.* (2004), estimaron la acumulación de carbono en la biomasa aérea de algunos sistemas agroforestales (SAF) de Veracruz, México, durante un ciclo de producción. Los sistemas utilizados fueron: 1) cítricos asociados con plátano; 2) cítricos asociados con café; 3) cítricos asociados con café y plátano; 4) cítricos con pastoreo de borregos; 5) cítricos asociados con cultivos de cobertura y 6) pastura en monocultivo. Los resultados sugieren que los cítricos contribuyen entre el 65 y el 88 % del carbono arbóreo. Asimismo, el mayor aporte de carbono total lo genera la biomasa arbórea. En cuatro de los cinco SAF evaluados, su aporte varía entre 95.7 y 97.8 %. El sistema basado en cítricos y borregos pelibuey, tuvo la mayor acumulación de carbono con 63.4 a 94.7 t • ha<sup>-1</sup> y el menor fue pastura con 1.4 a 2.1 t • ha<sup>-1</sup>.

En una revisión reciente de autores mexicanos sobre fijación de carbono en el sureste de nuestro país (Alayón *et al.* 2016) se recopilan diferentes estudios de línea base que indican que el valor más alto se obtiene en sistemas con árboles dispersos en potreros (88.89 Mg C ha<sup>-1</sup>), seguido por sistemas de cercos vivos (87.5 Mg C ha<sup>-1</sup>) y por último en pasturas en monocultivo (60.62 Mg C ha<sup>-1</sup>). El uso de cercos vivos con *Gliricidia sepium* tuvo un almacenamiento de carbono en el suelo de 20.44 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, en comparación con 19.22 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de pasturas en monocultivo de ganadería extensiva.

### MITIGACIÓN DE METANO ENTÉRICO

En una reciente revisión sobre el estado del arte en cuanto a emisión de metano entérico para Latinoamérica, Benaouda *et al.* (2017) señalaron que en el caso de México la estimación de los factores de emisión y los inventarios son limitados y recientes.

Sobresalen los trabajos encabezados por Castelán *et al.* (2014) y Ku-Vera *et al.* (2016) quienes son pioneros en México respecto a la cuantificación de gas metano en cámaras respiratorias, en el caso de los segundos autores utilizan forrajes y frutos tropicales y en el primer caso trabajan con follaje mayoritariamente de zonas templadas, además de encargarse del inventario de gases

of methane emission by comparing traditional star grass systems (*C. plectostachyus*) in monoculture with CH<sub>4</sub> emission values (85 kg animal<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) compared with 68 in intensive silvopastoral system (*L. leucocephala/P. maximum*).

Essentially, the enteric methane mitigation approach focuses on identifying tree foliage or fruits with secondary metabolites, whether rich in tannins in particular condensates or in saponins, a phenomenon also observed in Mexico (Piñeiro-Vázquez *et al.* 2015 and Ku-Vera *et al.* 2016).

### ANIMAL WELFARE IN SILVOPASTORAL SYSTEMS

The study of animal welfare associated to silvopastoral systems is recent, with favorable aspects in the performance for animals and, in this sense, it was observed that dermal temperature of livestock associated with silvopastoral systems is 4 °C lower compared to the cattle in monocultures (Galindo *et al.* 2013). It is important to consider that high temperatures increase water intake, loss of energy and modify feeding times in monoculture paddocks compared to SPS (Améndola 2013 and Améndola *et al.* 2016).

Likewise, effects such as anxiety and fear in animals, including fear of humans, can be reduced when there is a partial concealment as in the case of SPS. This leads to improve the interactions between humans and animals, as well as ease of management (Mancera and Galindo 2011). On the other hand, food selection in the SPS results in greater control of the animal in its environment, with better social performance (Améndola *et al.* 2016).

Recently, Mancera *et al.* (2018) established, in cattle farms from southeast of Mexico, a better body condition, less leakage distance and tegument damage in farms with a tree cover from 22 to 35 % compared to those with low coverage (2 %), which implies favorable effects on animal welfare.

Likewise, Améndola *et al.* (2018), when comparing SPS with monoculture, found that daily feeding time was longer in monoculture, rumination duration was higher in the SPS, feeding time was decreased in relation to temperature-humidity index and this suggests that forage availability and shade access in the SPS allow cattle to rest longer and increase rumination, while cattle in monoculture spend more time searching for food during daylight hours. It is necessary to relate this rumination effect with methane emission.

On the other hand, positive effects of SPS on reproduction are assumed, such as puberty reduction, estrous cycle regularity, improvement of libido in sires and semen quality, increase of conception rate and reduction of embryonic losses (Pérez-Hernández and Díaz-Rivera 2008).

de efecto invernadero para rumiantes en México.

Asimismo, Solorio *et al.* (2011) señalaron disminución de la emisión de metano comparando sistemas tradicionales pasto estrella (*C. plectostachyus*) en monocultivo con valores de emisión de CH<sub>4</sub> (85 kg animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) comparado con 68 en sistema silvopastoril intensivo (*L. leucocephala/P. maximum*).

Fundamentalmente el enfoque de mitigación de metano entérico se centra en identificar follajes o frutos de arbóreas con metabolitos secundarios, sean ricos en taninos en particular condensados o en saponinas, fenómeno observado también en México (Piñeiro-Vázquez *et al.* 2015 y Ku-Vera *et al.* 2016).

### BIENESTAR ANIMAL EN SISTEMAS SILVOPASTORILES

El estudio de bienestar animal asociado a sistemas silvopastoriles es reciente con aspectos favorables tanto en la conducta como en el desempeño de los animales y en este sentido se observó que la temperatura dermal del ganado asociado a sistemas silvopastoriles es 4 °C menor en comparación con el ganado en monocultivos (Galindo *et al.* 2013). Es importante considerar que las altas temperaturas aumentan el consumo de agua, la pérdida de energía y modifican los tiempos de alimentación en potreros de monocultivo comparado con SSP (Améndola 2013 y Améndola *et al.* 2016).

Así mismo, efectos como la ansiedad y el miedo en los animales, incluido el miedo a los humanos, pueden ser reducido cuando existe un ocultamiento parcial como en el caso de los SSP. Esto conlleva a mejorar las interacciones entre humanos y animales, además de facilidades en el manejo (Mancera y Galindo 2011). Por otro lado, la selección de alimentos en los SSP da como resultado mayor control del animal de su entorno, con un mejor comportamiento social (Améndola *et al.* 2016).

Recientemente Mancera *et al.* (2018) establecieron en ranchos ganaderos del sureste de México una mejor condición corporal, menor distancia de fuga y de daño en tegumento en ranchos con una cobertura arbórea de 22 a 35 % comparado con aquellos que tenían baja cobertura (2 %), lo que implica efectos favorables en el bienestar animal.

Asimismo, Améndola *et al.* (2018) al comparar SSP con monocultivo encontraron que el tiempo de alimentación diaria fue más largo en monocultivo, la duración de la rumia fue más alta en el SSP, se disminuyó el tiempo de alimentación en relación con el índice de temperatura-humedad y esto sugiere que la disponibilidad de forraje y el acceso a la sombra en el SSP permiten que el ganado descansa durante más tiempo e incrementa la rumia, mientras que el ganado en monocultivo pasa más tiempo en búsqueda de comida en las horas del día, se hace necesario relacionar este efecto de rumia con la emisión de metano.

Por otro lado, se asumen efectos positivos del SSP en la reproducción, entre ellos: la reducción de la pubertad, la regularidad en el ciclo estral, la mejora de la libido

### SOME EXPERIENCES IN THE PRODUCTION OF CALVES IN THE TROPICS WITH THE USE OF TREES AND AGRICULTURAL AND AGRO-INDUSTRIAL BY-PRODUCTS (AAB)

This study presents some results of the proposed use of local resources (trees + AAB) to improve production efficiency and this should allow a better participation in calf sale in the market. In general, there are low weaning weights and ignorance of feeding strategies at this stage.

In this context, in a first case the results of 160-day-old calves are presented in a dual purpose system, where the offspring consume residual milk, plus a grazing area of *Cynodon plectostachyus*, with different types of supplements, mainly the use of 15 and 30 % of inclusion of a mixture of trees (*Gliricidia sepium* + *Leucaena leucocephala*) plus maize stubble (40%), connotation that implies a lower dependence on inputs outside the farm (table 5). The difference in DWG of almost 0.100 kg in favor of the conventional option is acceptable if the independence of the AAB option is taken into account, by incorporating local products it avoids the commercial purchase of food. It is considered that the present strategy has greater production potential if it is not limited by the availability of grass or by the systematic contribution of the supplement.

In a second experience, the potential of animals and the feeding system was demonstrated with the greater use of AAB equivalent to 70 % of the ration (cottonseed meal 9 %, sorghum 18 %, molasses 13 %, poultry manure 17 %, maize stubble 40 %, urea 0.9%, ammonium

en los sementales y la calidad de semen, el aumento en la tasa de concepción y la reducción de pérdidas embrionarias (Pérez-Hernández y Díaz-Rivera 2008).

### ALGUNAS EXPERIENCIAS EN LA PRODUCCIÓN DE BECERROS EN EL TRÓPICO CON EL USO DE ARBÓREAS Y SUBPRODUCTOS AGRÍCOLAS Y AGROINDUSTRIALES (RAA)

A continuación se muestran algunos resultados de la propuesta de utilización de recursos locales (árboles + RAA) para mejorar la eficiencia productiva y que ello permita una mejor participación en la venta de becerros en el mercado. En general, dominan bajos pesos al destete y desconocimiento de las estrategias de alimentación en esta etapa.

En este contexto, en un primer caso se presentan los resultados de becerros de 160 días de edad en un sistema de doble propósito, en donde las crías consumen leche residual, más un área de pastoreo de *Cynodon plectostachyus*, con diferentes tipos de suplementos, sobresale el uso de 15 y 30 % de inclusión de una mezcla de arbóreas (*Gliricidia sepium* + *Leucaena leucocephala*) más rastrojo de maíz (40%), connotación que implica una menor dependencia de insumos fuera del rancho (tabla 5). La diferencia en GDP de casi 0.100 kg a favor de la opción convencional es aceptable si se toma en cuenta la independencia de la opción RAA, al incorporar productos locales evita la compra comercial del alimento. Se considera que la presente estrategia tiene mayor potencial de producción si no se ve limitada por la disponibilidad de pasto o por el aporte sistemático del suplemento.

En una segunda experiencia se demostró el potencial de los animales y del sistema de alimentación con el uso

Table 5. Composition of rations with different inclusion levels of tree legumes (*Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala*)

Ingredient	0	15	30	Commercial
<i>Gliricidia sepium</i>	0.0	7.5	15.0	
<i>Leucaena leucocephala</i>	0.0	7.5	15.0	
Maize stubble	40.0	40.0	40.0	
Ground grain of maize	16.0	17.0	10.0	
Molasses	11.0	10.0	15.0	
Cottonseed meal	15.0	6.0	0.5	
Common salt	1.45	1.45	1.45	
Mineral salt	1.45	1.45	1.45	
Poultry manure	14.0	8.0	0.5	
Urea	1.0	1.0	1.0	
Ammonium sulfate	0.1	0.1	0.1	
CP (%)	13.6	13.6	13.6	
ME (Mcal/kg DM)	2.4	2.4	2.4	
Initial weight (kg)	116.7	116.2	112.8	112.5
Final weight (kg)	143.3	149.8	145.9	139.6
DWG (kg)	0.384	0.487	0.479	0.392
Concentrate intake (DM)/animal/day	1.296	1.674	1.575	1.602

sulfate 1%, minerals 1% and common salt 1%), with 120-day-old brown Swiss animals, 110 kg of liveweight in a dual purpose system in a 94-day trial, where 1.249 kg/day of DWG was achieved for a final weight of 228 kg at weaning and an intake 5.326 kg of dry matter plus residual milk.

In a third experiment (table 6), maize stubble was substituted for *Cenchrus purpureum* cv. Cuba CT-115 hay and the fruit of *Crescentia alata* was included as a strategy in the development of calves, where the hay of grasses and the fruit represented 66 % of the ration. In addition to improving the productive performance of growing animals, the availability of a perennial forage, coupled with its greater biomass production, it is transformed into a better productive strategy.

Previous results originated the proposal for the development of calves in the cow-calf system, grazing *Cenchrus purpureum* cv. Cuba OM-22, *Cynodon plectostachyus*, *Megathyrsus maximus* cv. Mombasa in monoculture or the same species combined with *Morera* spp and *L. leucocephala* in low density, as well as *Cynodon plectostachyus* with protein bank of *L. leucocephala*. Calves are kept for the first 30 days with the mother and later, until day 100, they are separated from the mother for six hours in the morning (from 7 am to 1 pm). During this time, they are offered a pre-weaning food. These animals are weaned at seven months with a DWG of  $0.939 \pm 0.168$  and weight of  $232 \pm 37$  kg LW. It is considered that this alternative management of the offspring has a potential of 1.281 kg of DWG.

To this productive approach in Colima, Mexico, it is added the possibility of a market in a win-win integration, where calves are destined for national consumption and export. In the case of export, it is associated with age, weight, breed type and health (tick control, internal deworming, brucella tests and tuberculosis) among the biological aspects. Regarding the administrative aspects, the distance from the ranch to the storage, availability of vehicle for transport, plus the organization of producers for the sale of calves, as well as accounting elements, factors that, directly or indirectly, impact the price of the weight to the farmer. To meet these requirements, they have an extra in the sale price of up to 10% kg, although it is necessary to point out that price can be variable and responds to external elements, it is considered that all these elements allow to improve productive systems of tropical cattle rearing.

mayoritario de RAA equivalente al 70 % de la ración (Harinolina 9 %, Sorgo 18 %, Melaza 13 %, Pollinaza 17 %, Rastrojo de maíz 40 %, Urea 0.9 %, Sulfato de amonio 1 %, Minerales 1 % y sal común 1 %), con animales Pardo Suizo de 120 días de edad, 110 kg de peso vivo en un sistema de doble propósito en una prueba de 94 días en donde se logró GDP de 1.249 kg/día para un peso final de 228 kg al destete y un consumo de 5.326 kg de materia seca más la leche residual.

En una tercera experiencia (tabla 6), se sustituyó el rastrojo de maíz por heno de *Cenchrus purpureum* cv. Cuba CT-115 y se incorporó el fruto de *Crescentia alata* como estrategia en el desarrollo de becerros, en donde los henos de gramíneas y el fruto representaron el 66 % de la ración. Además de mejorar el desempeño productivo de los animales en crecimiento, la disponibilidad de un forraje perenne, aunado a su mayor producción de biomasa, se transforma en una mejor estrategia productiva.

Los anteriores resultados dieron pie a la propuesta para el desarrollo de becerros en el sistema vaca-cría en pastoreo de *Cenchrus purpureum* cv. Cuba OM-22, *Cynodon plectostachyus*, *Megathyrsus maximus* cv. Mombasa en monocultivo o las mismas especies combinadas con *Morera* spp. y *L. leucocephala* en baja densidad, así como *Cynodon plectostachyus* con banco de proteínas de *L. leucocephala*. Los becerros se mantienen los primeros 30 días con la madre y posteriormente hasta el día 100 se separan de la madre por seis horas en la mañana (de 7 am a 1 pm) tiempo durante el cual se les oferta un alimento pre-destete. Estos animales se destetan a los siete meses con una GDP de  $0.939 \pm 0.168$  y peso de  $232 \pm 37$  kg PV. Se considera que esta alternativa de manejo de las crías tiene potencial de 1,281 kg de GDP.

A este enfoque productivo en Colima, México, se le suma la posibilidad de mercado en una integración de ganar – ganar, en donde los becerros se destinan tanto para consumo nacional como exportación. En el caso de la exportación se asocia a edad, peso, tipo racial y sanidad (control de garrapatas, desparasitación interna, pruebas de brucella y tuberculosis) dentro de los aspectos biológicos. En cuanto a los aspectos administrativos, la distancia del rancho al acopio, disponibilidad de vehículo para transporte, más la organización de productores para la venta de los becerros, así como elementos contables, factores que de manera directa o indirecta impactan el precio del kg en pie al productor. De cumplir con estos requisitos tienen un extra en el precio de venta de hasta 10% kg, aunque es necesario señalar que el precio puede ser variable y responde a externalidades, se considera que todos estos elementos permiten mejorar los sistemas productivos de la ganadería tropical.

Table 6. Comparison of two integral rations of fresh basis with agricultural and agroindustrial residues in the development of calves under double purpose systems, comparing two forage sources

Ingredients	Hay CT-115	Maize stubble
Hay	46.0	46.0
<i>Crescentia alata</i> (ground fruit)	8.7	8.7
Ground maize grain	11.5	11.5
Mineral salt	2.6	2.6
Cottonseed meal	5.7	5.7
Common salt	2.6	2.6
Poultry manure	21.7	21.7
Urea	1.3	1.3
Ammonium sulfate	0.1	0.1
CP (%)		
ME (Mcal/kg MS)		
Initial weight (kg)	116.7	116.2
Final weight (kg)	143.3	149.8
DWG (kg)	0.868 <sup>a</sup>	0.727 <sup>b</sup>
Integral ration intake (DM)/animal/day	3.9 <sup>a</sup>	4.3 <sup>a</sup>

## CONCLUSIONS

Mitigation and adaptation strategies carried out in Mexico guide the process for obtaining resilient systems, although there are greater contributions in some areas, they should be identified and combine efforts to develop research and application of knowledge in those topics that are little studied, and, this way, support the development of sustainable cattle rearing.

From a social perspective of a family scale, the development of resilient cattle rearing systems based on forage trees, plus agricultural and agroindustrial residues, is an opportunity for these systems to endure, as it favors their transformation and evolution to sustainable systems.

## CONCLUSIONES

Las estrategias de mitigación y adaptación realizadas en México guían el proceso para la obtención de sistemas resilientes, aunque se tienen mayores aportes en algunas áreas, deben identificarse y conjuntar esfuerzos para desarrollar trabajos de investigación y aplicación del conocimiento en aquellos temas que son poco estudiados para con ello apoyar el desarrollo de ganadería sustentable.

Desde una perspectiva social de escala familiar el desarrollo de sistemas ganaderos resilientes basados en árboles forrajeros más residuales agrícolas y agroindustriales es una oportunidad para que estos sistemas perduren, pues se favorece su transformación y evolución a sistemas sustentables.

## REFERENCES

- Alayon-Gamboa, J.A., Jiménez-Ferrer, G., Nahed-Toral, J. & Villanueva-López, G. 2016. Estrategias silvopastoriles para mitigar efectos del cambio climático en sistemas ganaderos del sur de México. *AGROPRODUCTIVIDAD* 9(9):10-15.
- Altieri, M. & Nicholls, C. 2009. Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativa. *LEISA revista de Agroecología*. Marzo p. 5-8- Available: <https://socla.co/wp-content/uploads/2014/leisa-campesino-cambio-climatico.pdf> (Consulted: September 20, 2017).
- Améndola, L. 2013. Conducta social y de mantenimiento de bovinos (*Bos indicus*) en sistemas silvopastoriles. Master Thesis. Universidad Nacional Autónoma México. Cd. de México, México.
- Améndola, L., Solorio, F. J., Ku-Vera, J. C., Améndola-Massiotti, R. D., Zarza, H. & Galindo, F. 2016. Social behaviour of cattle in tropical silvopastoral and monoculture systems. *Animal* 10(5):863-867.
- Améndola, L., Solorio, F.J., Ku-Vera, J & Améndola-Massiotti, R.D., Zarza, H., Mancera, K & Galindo, F. 2018. A pilot study on the foraging behaviour of heifers in intensive silvopastoral and monoculture systems in the tropics. *Animal* 1-11 doi:10.1017/S1751731118001532.
- Anguiano, J.M. 2012. Alta densidad de siembra de *Leucaena leucocephala* en la intensificación del sistema silvopastoril cocotero-leguminosa-pasto. Posgrado en Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit. Nayarit, México.
- Anguiano, J. M., Aguirre, J. & Palma, J.M. 2013. Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de *Cocos nucifera*, *Leucaena leucocephala* var. Cunninghamham y *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115. Estado actual. *Revista: Avances en Investigación. Agropecuaria* 17(1):149-160.
- Anta, S. & Carabias, J. 2008. Consecuencias de las políticas públicas en el uso de los ecosistemas y la biodiversidad. In: J. Carabias, A. Mohar, S. Anta-Fonseca, y J. de la Maza, eds. *Capital Natural de México. Volumen III: Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad*, p. 87-153. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Mexico.



- Astier, M., García-Barrios, L., Galván-Miyoshi, Y., González-Esquivel, C. E. & Masera, O.R. 2012. Assessing the sustainability of small farmer natural resource management systems. A critical analysis of the MESMIS Program. *Ecology and Society*. 17(3):25.
- Ávila- Foucat, S. & Rebollo-Fernández, D.A. 2014. Análisis financiero y percepción de los servicios ambientales de un sistema silvopastoril: un estudio de caso en los Tuxtlas, México. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*. 22:17-33.
- Balvanera, P. & Cotler, H. 2009. Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. Pp. 185-245. In: *Capital Natural de México, Volumen II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Bautista-Tolentino, M., López-Ortiz, S., Pérez-Hernández, P., Vargas-Mendoza, M. & Gallardo-López, F. 2011. Productividad forrajera de agroecosistemas con bovinos bajo pastoreo tradicional y dirigido en paso de Ovejas, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 13(3):279-290.
- Benaouda, M., González-Ronquillo, M., Molina, L & Castelán-Ortega, O. 2017. Estado de la investigación sobre emisiones de metano entérico y estrategias de mitigación en América Latina. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(4):965-974.
- Callo-Concha, D., Rajagopal, I. & Krishnamurthy, L. 2004. Secuestro de carbono por sistemas agroforestales en Veracruz. *Ciencia UANL*. 7(2): 60–65.
- Castelán-Ortega, O.A., Ku-Vera, J.C. & Estrada-Flores, J. 2014. Modeling methane emissions and methane inventories for cattle production systems in Mexico. *Atmósfera* 27(2):185-191.
- Cervantes, N. 1988. *Functionnement del elevages bovins mixtes, en milieu tropical mexicain (etat de Colima) – analyse zootechnique et diversite genetique, perspectives d’amelioration*. These Doctorat. USTL.
- Del Viento, A, Lara, C. & Palma, J.M. 2014. Higuierilla (*Ricinus communis* L.) ¿Forraje proteico alternativo para el ganado en sistemas silvopastoriles?. In: *XLI Reunión de la AMPA y VII Reunión Nacional sobre Sistemas Agro y Silvopastoriles*. Mérida, Yucatán, México, p. 398-401.
- Del Viento, A. & Palma, J.M. 2015. Influencia de hidróxido de calcio en el consumo de un suplemento activador del rumen basado en banano verde. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 19(3):17-23.
- Esperón, E. 2000. Efecto de la transferencia de tecnología y su impacto productivo en la reproducción en el sistema de producción bovina de doble propósito en el oriente de Colima. PhD Thesis. PICIP-FMVZ U. de Colima.
- Esquivel, G. 2015. *Desigualdad Extrema en México - Concentración del Poder Económico y Político*. OXFAM – México. 41p.
- FAO 2016. *Food and Agriculture: Key to Achieving the 2030 Agenda for Sustainable Development*. FAO, Rome. FAOSTAT 2016. Rome, Italy.
- Galindo, F., Olea, R. & Suzán, G. 2013. Animal welfare and sustainability. International Workshop on Farm Animal Welfare. Sao Paulo SP Brazil. Available: <http://www.workshopdebemestaranimal.com.br/indexen.html>
- García-Barrios, L. & González-Espinosa, M. 2017. Investigación ecológica participativa como apoyo de procesos de manejo y restauración forestal, agroforestal y silvopastoril en territorios campesinos. Experiencias recientes y retos en la sierra Madre de Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 88:129–140.
- Gerber, P., Henderson, B. & Makkar, H. 2013. Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera – Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO<sub>2</sub>. FAO. Roma, Italia. No. 177. 251p.p.
- González, R. 2003. Alternativas de fomento de la ganadería bovina en Colima. *APORTES*. p. 73-92.
- González-Gómez, J.C., Ayala-Burgos, A. & Gutiérrez-Vázquez, E. 2006. Determinación de fenoles totales y taninos condensados en especies arbóreas con potencial forrajero de la Región de Tierra Caliente Michoacán, México. *Livestock Research for Rural Development* 18 (11). Available: <https://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd18/11/guti18152.htm>
- González, J.M. 2013. Costos y beneficios de un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), con base en *Leucaena leucocephala* (Estudio de caso en el municipio de Tepalcatepec, Michoacán, México). *Revista Avances en Investigación Agropecuaria*. 17(3): 35-50.
- González, J.M. 2016. Evaluación económica de una engorda de toretes en dos sistemas de alimentación. *CIENCIA ERGO-SUM*. 23(2):154-162.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2014, Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Available: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/> (Consulted: October 10, 2017).
- Ku-Vera, J.C., Ramírez-Avilés, L., Jiménez-Ferrer, G., Alayón, J.A. & Ramírez-Cancino, L. 1999. Árboles y arbustos para la producción animal en el trópico Mexicano. *Agroforestería para la producción animal en América Latina*. FAO. Roma, Italia. p. 231-250.
- Ku-Vera, J.C., Piñeiro Vázquez, A.T., Canul Solís, J.R., Albores Moreno, S., González Muñoz, J.C., Lazos Balbuena, F., Ayala Burgos, A.J., Aguilar Pérez, C.F. & Solorio Sánchez, F.J. 2016. Mitigación de las emisiones de metano entérico en rumiantes alimentados con follaje y frutos de árboles y arbustos tropicales. In: *VIII Reunión nacional sobre sistemas agro y silvopastoriles*. Chapingo, Edo de México. p. 20-25.
- Lara, C. 2015. Efecto asociativo de *Ricinus communis* L. sobre la punta de caña de azúcar para rumiantes. MIPPE – Universidad de Guadalajara. Jalisco, México. 100 pp.
- Lara, C., Del Viento, A. & Palma, J.M. 2016. Preferencia y consumo de diferentes partes morfológicas de *Ricinus communis* L. (higuierilla) por ovinos. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 20(2): 43-52.
- Mancera, A. K. & Galindo, F. 2011. Evaluation of some sustainability indicators in extensive bovine stockbreeding systems in the state of Veracruz. Pp. 31. In: *VI Reunión Nacional de Innovación Forestal*, León Guanajuato, México.
- Mancera, K. Zarza, F. de Buen, L. García, A. Montiel, F. & Galindo, F. 2018. Integrating links between tree coverage and cattle welfare in silvopastoral systems evaluation. *Agronomy for Sustainable Development*. 38:19
- Mejía-Díaz, E., Mahecha, Ledezma, L. & Angulo-Arizala, J. 2017. *Tithonia diversifolia*: especie para ramoneo en sistemas

- silvopastoriles y métodos para estimar su consumo. *Agronomía Mesomericana*. 28(1):289-302.
- Nahed, J., Palma, J.M. & González, E. 2014. La adaptación como atributo esencial en el fomento de sistemas agropecuarios resilientes ante las perturbaciones. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 18(3):7-34.
- Palma, J.M. 2005. Los árboles en la ganadería tropical. *Avances en Investigación Agropecuaria* 9(1):1-9.
- Palma, J.M. 2014. Escenarios de sistemas de producción de carne de bovino en México. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 18(Suplemento 1): 53-62.
- Palma, J.M. & Anguiano, J.M. 2015. Sistemas silvopastoriles en el mejoramiento de los sistemas de producción bovina en ganadería de doble propósito en México. In: *La Ganadería en América Latina y el Caribe – alternativas para la producción competitiva e incluyente de alimentos de origen animal*. Editores Rafel Núñez Domínguez, Rodolfo Ramírez Valverde, Salvador Fernández Rivera, Salvador Fernández Rivera, Omar Araujo Febres, Miguel García Winder y Tito Efraín Díaz Muñoz. Colegio de Posgraduados. Jalisco, México. P. 375-390.
- Palma, J.M. & Flores, R. 1997. Aproximación al estudio de la vegetación arbórea del estado de Colima, México. In: *X Reunión de Avances en Investigación Agropecuaria Trópico '97*. Barra de Navidad, Jalisco, México. 13 al 14 de Noviembre de 1997. P. 88-90
- Palma, J.M. & González-Rebeles, C. 2018. Recursos arbóreos y arbustivos tropicales para una ganadería bovina sustentable. Ed. Universidad de Colima. Universidad de Colima-REDGATRO-CONACYT. En Prensa.
- Palma, J.M., Medrano, F., Silva, E., Verdusco, R. & Galina, M. 1993. Caracterización de los sistemas ganaderos en el municipio de Tonila, Jalisco. *Reunión Nacional de Investigación Pecuaria*. Jalisco, México. p. 287.
- Palma, J.M.; Nahed, J. & Sanginés, L. (2011). Alternativas para una reconversión ganadera sustentable. *Agroforestería pecuaria en México*. Universidad de Colima. Colima, México. 187 p.
- Palma, J.M., Ruiz, T.E. & Jordán, H. 2000. Bancos de proteína con *Leucaena leucocephala*. Una experiencia de transferencia de tecnología en sistemas silvopastoriles en México. Editorial Agrosystems Editing. ISBN 968-7541-05-9. Colima, México. 58 pp.
- Pérez-Hernández, P., & P. Díaz-Rivera. 2008. Ganadería bovina de doble propósito: problemática y perspectivas hacia un desarrollo sustentable. Capítulo V. En *Desarrollo Sostenible de Ganadería Doble Propósito*. Editores Carlos González-Stagnaro, Ninoska Madrid Bury y Eleazar Soto Belloso. p 58-69.
- Pinto, R., Gómez, H., Martínez, B., Hernández, A., Medina, F., Ortega, L. & Ramírez, L. 2004. Especies forrajeras utilizadas bajo silvopastoreo en el centro de Chiapas. *Avances en Investigación Agropecuaria* 8(2): 53-67.
- Pinto, R., Hernández, D., Gómez, H., Cobos, M.A., Quiroga, R. & Pezo, D. (2010). Árboles forrajeros de tres regiones ganaderas de Chiapas, México: Usos y características nutricionales. *Ciencia y Universidad*. 26(1):19-31.
- Piñeiro-Vázquez, A.T., Canul-Solis, J.R., Alayón-Gamboa, J.A., Chay-Canul, A.J., Ayala-Burgosa, A.J., Aguilar-Pérez, C.F., Solorio-Sánchez, F.J. & Ku-Vera, J.C. 2015. Potential of condensed tannins for the reduction of emissions of enteric methane and their effect on ruminant productivity. *Arch. Med. Vet.* 47:263-272.
- Primack, R., Rozzi, R., Feinsinger, P., Dirzo, R. & Massardo, F. 2001. *Fundamentos de conservación biológica: perspectivas latinoamericanas*. D.F. México. Fondo de Cultura Económica. 797 pp.
- Ramírez, L.A. 2017. *Ricinus communis* L. como forraje proteico - energético en ovejas en el último tercio de la gestación alimentada con punta de caña de azúcar. MIPPE - Universidad de Guadalajara. Jalisco, México. 68 pp.
- Ramírez, L.A., Del Viento, A. & Palma, J.M. 2017. Evaluación de la edad de corte sobre la composición química y degradabilidad ruminal *in situ* de lámina de hoja de *Ricinus communis* L. *Livestock Research Rural Development*. 29:1-7.
- Reinjets, C., Haverkort, B. & Waters-Bayer, A. 1992. *Farming for the future*. MacMillan, London. 250 pp.
- Román, L. & Palma, J.M. 2007. Árboles y arbustos tropicales nativos productores de néctar y polen en el estado de Colima, México. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 11(3):3-24.
- Román, L., Palma, J.M., Zorrilla, J.M., Mora, A y Gallegos, A. 2008. Degradabilidad ruminal de la materia seca de la harina de fruto de guácima (*Guazuma ulmifolia*) con dietas de frutos de especies arbóreas. *Zootecnia Tropical*. 26(3):227-230.
- Román, L., Mora, A. y González, G. 2016. Sistemas agroforestales con especies de importancia maderable y no maderable, en el trópico seco de México. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 20(2): 53-72.
- Ruiz, T.E., Alonso, J., Torres, V., Valenciaga, N., Galindo, J., Febles, G., Díaz, H., Tuero, R. & Mora, C. 2018. Evaluación de materiales recolectados de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la zona de las Tunas y Granma en el oriente de Cuba. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 22(1):19-27.
- SAGARPA-FAO. 2012. *Agricultura familiar con potencial productivo en México*. México, D.F. 534 pp.
- SEMARNAT 2012. Informe de la situación del medio ambiente en México – Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y de desempeño ambiental 2008. Available: [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_12/03\\_suelos/cap3\\_2.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/03_suelos/cap3_2.html) (Consulted: October 30, 2013).
- Solorio, F. J., Bacab, H. M. & Ramírez, A. L. 2011. Los sistemas silvopastoriles intensivos: avances de investigación en el valle de Tepalcatepec, Michoacán. In: *III Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos*. Morelia y Tepalcatepec, Michoacán. México. p. 17-31.
- Shibu, J. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforest. Sys* 76:1-10.
- Torres-Rivera, J. A., Espinoza, W., Krishnamurthy, L. & Vázquez-Alarcón, A. 2011. Secuestro de carbono en potreros arbolados, potreros sin árboles y bosque caducifolio de Huatusco, Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 13(3):543–549.