



# MODELO DE INNOVACIÓN EN GANADERÍA SOSTENIBLE

Para la Península de Yucatán



UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA  
DE YUCATÁN

## MODELO DE INNOVACIÓN EN GANADERÍA SOSTENIBLE

Para la Península de Yucatán

II

### AUTORES

*Francisco J. Solorio Sánchez  
Baldomero Solorio Sánchez  
Juan Carlos Ku Vera  
Carlos Aguilar Pérez  
Luis Ramírez y Avilés*

### COORDINACIÓN TÉCNICA Y REVISIÓN

*Sherie Rae Simms  
María E. Barragán Fuentes  
Seki Cinco Martínez*

THE NATURE CONSERVANCY  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN

Marzo 2021



## PREFACIO

Las Redes de Innovación Territorial (RITER) son comunidades de aprendizaje que conectan primordialmente productores/as mediante el diálogo de saberes. Las personas que componen las RITER son agentes de cambio que se encuentran en espacios como escuelas de campo, parcelas demostrativas, ranchos escuela y centros de innovación para realizar el intercambio y la difusión de conocimientos, prácticas y tecnologías necesarias para producir conservando la naturaleza, por el bienestar de las familias y comunidades. La estructura de vinculación que articula las RITER funciona como un sistema que conecta a los productores/as con la ciencia, la investigación, el extensionismo y las cadenas de valor. Creemos firmemente que al mantener una visión común construimos realidades conectando personas mediante el diálogo para conectar paisajes mediante la acción.

Somos RITER, una comunidad de aprendizaje que articula a más de 100 productores/as con capacidades sociales y técnicas para formar a otros/as, cinco equipos técnicos de cinco instituciones que acompañan las acciones individuales y la acción colectiva, más de cinco equipos de consultores/as claves para las estrategias transversales, así como cinco especialistas del equipo de Territorios Sostenibles de TNC México, que hemos co-construido conocimientos importantes para el desarrollo sostenible de las comunidades locales y la conservación de la Selva Maya en la península de Yucatán. Este material representa el esfuerzo y dedicación de muchas personas, en particular de los productores y productoras que mediante la acción comprueban la eficacia de las prácticas y conocimientos co-construidos para la innovación productiva en nuestros paisajes multifuncionales y multiculturales. #SomoSelvaMaya

## AGRADECIMIENTOS

Un sincero agradecimiento al apoyo financiero otorgado por The Nature Conservancy (TNC) que permitió y facilitó el trabajo con productores y productoras ganaderos en Yucatán en el marco del Proyecto "Red de Innovación Territorial para la Ganadería Sustentable".

También reconocemos el gran apoyo por parte de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), al personal de TNC en Yucatán por sus valiosas aportaciones para la realización del presente documento. El documento es el resultado de varios años de trabajo conjuntamente con líderes ganaderos y ganaderas, y los puntos de vista e información contenida en este documento es el resultado de los indicadores generados y de las consultas a los actores locales, así como de las experiencias del equipo investigador del Proyecto.

Especial agradecimiento a la Dra. Leticia Deschamps Solórzano del IICA, a los Dres. José Manuel Palma, Investigador de la Universidad de Colima, Dr. José Angel Domínguez por sus valiosos comentarios y sugerencias para mejorar la calidad del presente documento.

### APOYADO POR:



## PRESENTACIÓN

El presente documento proporciona las bases técnico-científicas y elementos metodológicos para desarrollar un modelo innovador de ganadería sostenible adaptado a las condiciones de la península de Yucatán. La iniciativa fue propuesta por la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) en colaboración con The Nature Conservancy México (TNC México). El documento explica, de forma breve, la situación actual de la ganadería convencional, caracterizando los elementos principales que han propiciado la problemática actual en los sistemas ganaderos de la península de Yucatán. El modelo de ganadería propuesto, explica desde un punto de vista agroecológico, la necesidad de transformar los sistemas ganaderos convencionales en sistemas ganaderos competitivos y bajos en emisiones de carbono, mejorando los estratos de vegetación, restaurando las pasturas, los suelos, subsuelos y con mejor eficiencia del uso de agua.

La demanda de forrajes a nivel global ha aumentado considerablemente, esta expansión ha sido asociada directamente con la pérdida y fragmentación de bosques, así como con paisajes configurados por mosaicos de monocultivos de pastos, cultivos agrícolas y fragmentos de bosques. Por otro lado, más del 50% de las pasturas se encuentran en un estado avanzado de degradación, condición que representa para los ganaderos, pérdidas económicas, ocasionadas por la baja productividad (leche y carne) y rentabilidad de la ganadería.

La magnitud de las pérdidas económicas y el impacto negativo por degradación de pasturas son más graves cuando se cuantifican las externalidades relacionadas con el cambio climático, la pérdida de la biodiversidad, la erosión del suelo y la emisión de gases con efecto invernadero.

En vista de lo anterior, es muy importante



contar con un modelo innovador en ganadería sostenible que logre la reconversión de los sistemas actuales de la ganadería en la Península de Yucatán, con el fin de mejorar y diversificar la productividad. Con el nuevo modelo ganadero se contribuirá a generar un sistema de producción eficiente que asegure la disponibilidad y calidad del forraje durante mayor tiempo a lo largo del año, genera mejores condiciones microclimáticas para la ganadería, contribuye a la reforestación y reducción de emisiones de metano, dióxido de carbono y óxido nitroso. Adicionalmente, se puede contribuir a reducir el impacto de las prácticas inadecuadas de la ganadería tradicional sobre las selvas de la península de Yucatán.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Capítulo I: La Estrategia y el Plan de Acción</b>	<b>1</b>
Potencial de incremento en la productividad y de Mitigación De GEI	4
Vinculación con los Objetivos de la Contribución Determinada Nacionalmente de México	6
Paisajes Ganaderos: Diagnóstico General	7
<b>Capítulo II: La Ganadería en la península de Yucatán</b>	<b>10</b>
Introducción	11
Clima y Producción de Forrajes	12
Sistema de Producción Bovina en Praderas Tropicales en Yucatán	15
Producción Animal y Zona de Bienestar	17
Calidad de los Forrajes Tropicales	20
<b>Capítulo III: Cambio Climático y Producción Animal</b>	<b>22</b>
Consecuencias Económicas	23
Ganadería y Emisión de Gases de Efecto Invernadero	23
Dióxido de Carbono	24
Erosión y Deforestación	25
Degradación de Suelos	26
<b>Capítulo IV: Restauración de Pasturas Degradadas</b>	<b>28</b>
Sistemas Silvopastoriles: Estrategia Agroecológica para Restaurar Paisajes Ganaderos	29
Principios Agroecológicos: Eficiencia, Resiliencia, y Adaptación (Era)	30
Sistemas Agrosilvopastoriles	31
Componentes Principales	31
Importancia de la Biodiversidad en el Rediseño de la Ganadería	32
Los Sistemas Silvopastoriles	36
Eficiencia del Uso del Espacio, Luz Solar e Interacciones	36
Importancia de las Leguminosas en el Rediseño de Sistemas Ganaderos	37
<b>Capítulo V: Establecimiento de Sistema Silvopastoril</b>	<b>40</b>
Análisis Agroecológico del Sistema	42
Suelos	43
Recuperación de Áreas Deforestadas	44
Preparación del Terreno	44
Manual	44
Preparación Mecánica	45
Preparación de la Semilla de Leucaena	46
Escarificación	46
Siembra	47
Áreas nuevas	47
Siembra del Pasto	49
Control de Malezas	49
Establecimiento en Áreas de Pasturas Existentes	50
Establecimiento de SSP en Vegetación Secundaria	50
Cercas Vivas	52
Primer Silvopastoreo	54
Carga Animal	56
Productividad Animal y Forrajera	57
Estimación para la Distribución de los Potreros	57

<b>Anexo I: Conceptos Importantes</b>	<b>58</b>
<b>Anexo II: Arboles con Potencial Forrajero</b>	<b>59</b>
<b>Anexo III: Producción y Calidad de Forraje de Árboles</b>	<b>61</b>
<b>Producción de Biomasa y Composición Química de Especies Leñosas</b>	<b>61</b>
<b>Referencias</b>	<b>64</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> Población ganadera bovina nacional y de la Península de Yucatán.	8
<b>FIGURA 2.</b> Sistemas ganaderos tradicionales basados en monocultivos de pasturas.	11
<b>FIGURA 3.</b> La ganadería en el estado de Yucatán se caracteriza por utilizar pastos de baja calidad.	12
<b>FIGURA 4.</b> El cambio climático afecta la calidad y producción de forrajes tropicales.	13
<b>FIGURA 5.</b> Efecto del tiempo de recuperación sobre la producción y calidad de los forrajes.	13
<b>FIGURA 6.</b> Producción de pasturas bajo riego en el municipio de Tizimín estado de Yucatán.	14
<b>FIGURA 7.</b> Efecto de la temperatura sobre la producción de rumiantes en el Trópico.	15
<b>FIGURA 8.</b> El sistema radicular de arbustivas y la MO del suelo son fuentes importantes de almacenamiento de carbono en los sistemas silvopastoriles.	16
<b>FIGURA 9.</b> Efecto de las temperaturas ambientales y su relación con la producción animal.	17
<b>FIGURA 10.</b> Animales en ausencia de sombra con problemas de consumo por altas temperaturas.	18
<b>FIGURA 11.</b> Factores climáticos que afectan el confort de la ganadería tropical.	19
<b>FIGURA 12.</b> Animales con problemas de estrés calórico por la ausencia de sombra en pasturas convencionales	19
<b>FIGURA 13.</b> Sistemas de producción ganadero con fuerte degradación de pasturas fomenta mayor emisión de GEI.	24
<b>FIGURA 14.</b> La ganadería convencional fomenta la deforestación y deterioro de la fertilidad de suelo.	25
<b>FIGURA 15.</b> Índices históricos de deforestación en la Península de Yucatán.	26
<b>FIGURA 16.</b> Deforestación en Campeche para la producción de maíz en campos menonitas.	27
<b>FIGURA 17.</b> La ganadería convencional fomenta la deforestación y deterioro de la fertilidad de suelo.	27
<b>FIGURA 18.</b> Principios agroecológicos para diseñar sistemas ganaderos sustentables.	30
<b>FIGURA 19.</b> Principios agroecológicos para el diseño de sistemas ganaderos ERA	31
<b>FIGURA 20.</b> Árboles de copa grande tienen un efecto refrescante en la ganadería.	31
<b>FIGURA 21.</b> Sistema silvopastoril con diversidad de especies arbóreas y arbustivas asociadas a gramíneas.	32
<b>FIGURA 22.</b> Árboles y arbustivas mostrando sistema radicular a diferentes profundidades Árboles y arbustivas mostrando sistema radicular a diferentes profundidades	33
<b>FIGURA 23.</b> Principales ventajas de incluir árboles o arbustivas en sistemas ganaderos	34

<b>FIGURA 24.</b> El sistema radicular de arbustivas y la MO del suelo son fuentes importantes de almacenamiento de carbono en los sistemas silvopastoriles.	35
<b>FIGURA 25.</b> Los árboles son una estrategia eficiente de secuestrar carbono y mitigar el impacto ambiental de la ganadería.	35
<b>FIGURA 26.</b> Interacciones principales en los sistemas silvopastoriles en la producción animal.	36
<b>FIGURA 27.</b> Esquema mostrando el proceso de la fijación de nitrógeno atmosférico en sistemas ganaderos con sistemas silvopastoriles.	37
<b>FIGURA 28.</b> Modelo de ganadería sustentable basado en sistemas silvopastoriles.	38
<b>FIGURA 29.</b> Nódulos en la raíz de <i>L. leucocephala</i> de dos meses de edad.	38
<b>FIGURA 30.</b> Sistema silvopastoril con especies arbóreas nativas para la ganadería tropical.	39
<b>FIGURA 31.</b> Etapas para el establecimiento de SSP con el uso de vegetación secundaria.	41
<b>FIGURA 32.</b> Etapas para el establecimiento de SSP en potreros con pasturas tradicionales	42
<b>FIGURA 33.</b> Sistema ganadero convencional basado en pasturas en monocultivo.	43
<b>FIGURA 34.</b> Área nueva para ser convertida en sistema ganadero.	43
<b>FIGURA 35.</b> Características de suelos con poco contenido de MO, característicos de la parte central del estado de Yucatán.	43
<b>FIGURA 36.</b> Vegetación secundaria ideal para ser enriquecida y manejada en sistema silvopastoril.	43
<b>FIGURA 37.</b> Control manual de arvenses para el establecimiento de sistemas silvopastoriles	44
<b>FIGURA 38.</b> Preparación mecánica para el establecimiento de sistemas	45
<b>FIGURA 39.</b> Escarificación con agua caliente de la semilla de Leucaena	46
<b>FIGURA 40.</b> Siembra de Leucaena en condiciones de suelos pedregosos como los del estado de Yucatán.	47
<b>FIGURA 41.</b> Preparación y siembra de leucaena con tractor formando hileras de 1.6 mts de distancia.	48
<b>FIGURA 42.</b> Establecimiento manual (a chorrallo) de Leucaena, con surcos formando hileras de 1.6 m de distancia	48
<b>FIGURA 43.</b> Leucaena establecida a 1.6 m de distancia entre surcos y sembrada a chorrallo.	48
<b>FIGURA 44.</b> Leucaena establecida en hileras asociada con pasto Estrella.	49
<b>FIGURA 45.</b> Leucaena libre de arvenses para facilitar su establecimiento	49
<b>FIGURA 46.</b> Control de arvenses a mano, en lugares donde el uso de maquinaria es difícil por las condiciones de suelo.	49
<b>FIGURA 47.</b> Establecimiento de Leucaena en pasturas existentes para el establecimiento de SSP.	50
<b>FIGURA 48.</b> Sistema silvopastoril con vegetación nativa para mejorar las condiciones microclimáticas.	50
<b>FIGURA 49.</b> Sistema silvopastoril con vegetación secundaria, principalmente especies leguminosas.	51
<b>FIGURA 50.</b> Manejo de la vegetación arbórea para el establecimiento de sistemas silvopastoriles	51
<b>FIGURA 51.</b> Grupo de animales entrando a un sistema silvopastoril conformado por vegetación secundaria	51
<b>FIGURA 52.</b> Potreros enriquecidos con cercas vivas de <i>Gliricidia sepium</i> .	52
<b>FIGURA 53.</b> Cerca viva con <i>G. sepium</i> , proporcionar sombra en la época de sequía.	52
<b>FIGURA 54.</b> Cerca viva de Leucaena para facilitar el pastoreo rotacional y generación de servicios ambientales.	53
<b>FIGURA 55.</b> Cerca viva de Leucaena para facilitar el pastoreo rotacional y generación de servicios ambientales.	53
<b>FIGURA 56.</b> Sistema silvopastoril con cercas vivas de ramón ( <i>B. alicastrum</i> ) para proveer de forraje y sombra en la época de sequías.	54
<b>FIGURA 57.</b> Primer pastoreo de un sistema silvopastoril con animales jóvenes.	55
<b>FIGURA 58.</b> Animales en pastoreo rotacional en sistema silvopastoriles.	55
<b>FIGURA 59.</b> Sistema silvopastoril con árboles de <i>B. alicastrum</i> (ramón) asociado con Leucaena y gramíneas.	59
<b>FIGURA 60.</b> Árboles nativos de chukum para la alimentación animal en la época de secas.	59
<b>FIGURA 61.</b> Árbol de jabín ( <i>P. piscipula</i> ) como un componente importante de los sistemas silvopastoriles.	60
<b>FIGURA 62.</b> Árbol de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> ideal componente en los SSP.	60

## LISTA DE CUADROS

<b>CUADRO 1.</b> Indicadores productivos en dos sistemas de producción ganadera (Convencional y Silvopastoril)	5
<b>CUADRO 2.</b> Producción de carne bovina en pasturas convencionales en el estado de Yucatán.	16
<b>CUADRO 3.</b> Concentración (%) de proteína cruda y fibra detergente neutra en pastos de la Península de Yucatán cosechados durante la estación seca (nov-mayo).	20
<b>CUADRO 4.</b> Croducción de carne en bovinos en pastoreo en Tizimín, de Yucatán.	21
<b>CUADRO 5.</b> Producción de biomasa (kg MS árbol <sup>-1</sup> ) para diferentes especies arbóreas.	61
<b>CUADRO 6.</b> Disponibilidad de forraje (kg MS árbol-1) en especies arbóreas a diferentes alturas de corte.	62
<b>CUADRO 7.</b> Composición química (%) de diferentes especies de árboles tropicales.	63

## CAPITULO I: LA ESTRATEGIA Y EL PLAN DE ACCIÓN



Enfrentamos un periodo de grandes retos, donde constantemente exigimos más a nuestros recursos naturales. El número de personas que carece de alimento aumenta y la población mundial continúa en crecimiento. En este contexto, es de suma importancia innovar en los sistemas agropecuarios y utilizar los recursos disponibles de forma más eficiente. En un esfuerzo para combatir el deterioro de los recursos naturales, la escasez de alimentos y el impacto ambiental de las actividades antropogénicas, en la Cumbre de las Naciones Unidas de septiembre de 2015, se aprobaron los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y los Jefes de Estado se comprometieron a intensificar esfuerzos para "poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible".

Adicionalmente, la pandemia vinculada del COVID-19 representa un desafío social. Se deben concentrar y redoblar esfuerzos para mitigar los efectos negativos de la pandemia principalmente en los sectores clave que contribuyen a la seguridad alimentaria, la nutrición y los medios de vida. El sector pecuario es un contribuyente clave en estas áreas, especialmente para las poblaciones más vulnerables del mundo (FAO, 2020). De acuerdo con la FAO, los efectos de COVID-19 en el sector pecuario aún no se han cuantificado. Las enseñanzas extraídas de las epidemias pasadas indican que es probable que estas alteraciones aumenten, junto con sus graves consecuencias socioeconómicas. Afortunadamente, se pueden adoptar medidas para proteger a este sector y sus actividades, servicios y productos de los que depende la sociedad (FAO, 2020).

Sin embargo, los sistemas ganaderos del trópico de México han incorporado poco conocimiento, situación que afecta gravemente la rentabilidad y sustentabilidad ganadera. La ganadería tropical convencional se ha basado en utilizar inmensas áreas para producir alimentos a un costo ambiental y económico elevado. Ante la demanda constante de alimentación, selvas y bosques se siguen transformando en áreas agropecuarias, principalmente en pasturas, cultivos de maíz, soya, sorgo.

Los indicadores de deforestación, de baja producción y de poca resiliencia de los sistemas ganaderos ilustran la necesidad de cambiar hacia modelos de producción menos agresivos con el ambiente y transitar hacia sistemas más amigables y eficientes desde el punto de vista ambiental y económico. Es, por tanto, urgente la modificación del patrón de producción ganadera actual hacia uno más ambientalmente responsable con base en el conocimiento científico agroecológico (FAO, 2019). La oportunidad para la ganadería tropical en la Península de Yucatán es inmena dada la diversidad de recursos locales disponibles.

La experiencia científica y técnica acumulada por instituciones nacionales (Universidad



**L**a oportunidad para la ganadería tropical en la Península de Yucatán es inmena dada la diversidad de recursos locales disponibles.

Autónoma de Yucatán, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma del Estado de México) e internacionales (CATIE en Costa Rica; CIPAV en Colombia, Universidad de Queensland, en Australia, CIAT en Colombia) con relación a sistemas ganaderos bajos en emisiones de carbono, representa un importante acervo de conocimiento que es preciso poner en práctica en diversas zonas agroecológicas de México. A nivel internacional, se han demostrado sólidamente los beneficios biológicos, económicos y ambientales que la ganadería basada en la integración con los recursos locales puede traer a los sistemas de producción ganaderos en los trópicos. Por ejemplo, en la región de Queensland, Australia se encuentran más de 300,000 has establecidas con la leguminosa *L. leucocephala* asociada con gramíneas que se emplea para la alimentación del ganado. Las instituciones de investigación referidas han reportado resultados de hasta 1.2 kg de ganancia/animal/día y 12 kg de leche/vaca/día con el sistema (Shelton, 1998).

La UADY, una institución líder en educación superior e investigación en el Sureste del país, ha desarrollado desde hace más de 30 años investigación tendiente a contribuir al rediseño de sistemas ganaderos más adaptados a las condiciones de los agroecosistemas de la Península de Yucatán y basados en el uso de recursos locales disponibles. La Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), con otras instituciones locales e internacionales han venido desarrollando un modelo de ganadería climáticamente inteligente basado en sistemas silvopastoriles. Los cuales integran de forma inteligente componentes de los sistemas de producción animal con componentes ecológicos y ambientales, dando como resultado sistemas de producción animal basados en principios agroecológicos, ampliamente recomendados por diferentes instituciones y

organizaciones internacionales como: la FAO, LEAD-FAO, WB, ONU, REDSAM y el IICA entre otros.

El modelo de ganadería sostenible, basado en sistemas silvopastoriles, articula las experiencias de diversas instituciones, creando sinergias y apoyando la innovación para impulsar el desarrollo económico de la región de Yucatán, por medio de acciones innovadoras de producción de leche y carne con bajas emisiones de carbono, con menor dependencia de insumos externos menor vulnerabilidad a las fluctuaciones económicas y ambientales frecuentes en el país.

**El modelo de innovación para una ganadería sostenible** tiene como objetivo principal, reducir la degradación del suelo, de los recursos naturales, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), e incrementar la capacidad de adaptación al cambio climático y la rentabilidad de las actividades ganaderas. En términos generales se espera contribuir al desarrollo ganadero de la Península de Yucatán.

Con base en lo anterior, el presente documento aborda temas estratégicos para la reconversión de sistemas ganaderos convencionales a sistemas ganaderos altamente productivos y preservadores de los recursos naturales. Los temas abordados estarán enfocados en atender problemáticas identificadas en la ganadería mexicana y en particular en la Península de Yucatán (González Padilla, 2018). Para potencializar las fortalezas y aprovechar las áreas de oportunidad, este documento aborda los siguientes aspectos:

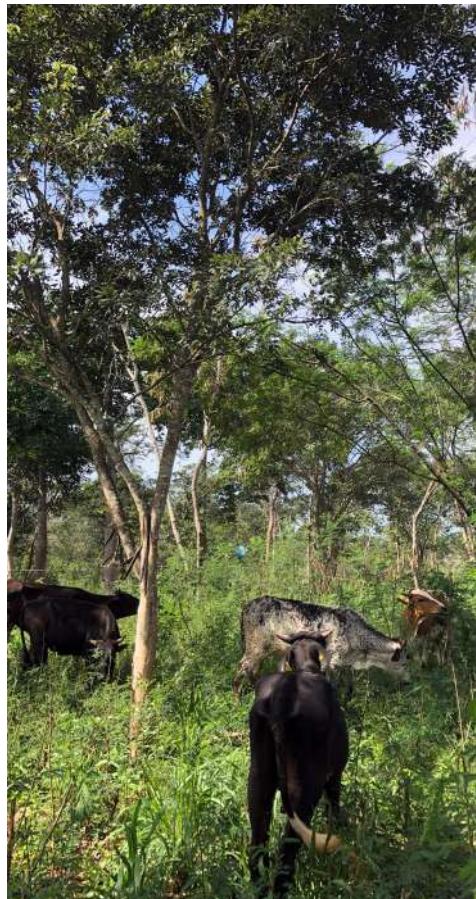
- Mejora de la alimentación de ganado bovino con especies forrajeras arbóreas y arbustivas nativas de alta calidad.
- Estrategia para incrementar la producción de leche y carne bovina por animal y por unidad de superficie.
- Incrementar la rentabilidad de la actividad ganadera bovina.
- Fomentar el uso eficiente de los recursos locales forrajeros, hídricos y edáficos.
- Restauración de paisajes ganaderos en regiones rurales vulnerables.
- Reducción de las emisiones de GEI proveniente de la ganadería bovina e incremento en las tasas de captura de CO<sub>2</sub>e.

- Mejora de las condiciones microambientales para el bienestar de bovinos en pastoreo.
- Realizar acciones de conectividad de los paisajes ganaderos con otros agroecosistemas y ecosistemas naturales.
- Generación de un sistema ganadero sustentable bajo en emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Contribuir a generar condiciones que fortalezcan los medios de vida de las comunidades mayas de la Península de Yucatán y que se traduzcan en mejoras en su ingreso y nivel de bienestar de las familias vinculadas con los sistemas ganaderos.
- Mejorar la planificación de uso de los paisajes ganaderos para reducir la deforestación y el uso del fuego en las actividades ganaderas.
- Rescatar y revalorar los saberes tradicionales de las comunidades mayas para el uso de los recursos naturales en el diseño de sistemas agro-silvopastoriles.

## POTENCIAL DE INCREMENTO EN LA PRODUCTIVIDAD Y DE MITIGACIÓN DE GEI

En los últimos años, los avances científicos y las nuevas experiencias generadas en relación con sistemas silvopastoriles sugieren una respuesta positiva para transformar la ganadería convencional basada en pasturas en monocultivo hacia una ganadería que integra y conserva los recursos naturales. Estos trabajos permiten probar las ventajas de los sistemas silvopastoriles con especies arbóreas y arbustivas como Leucaena asociada con gramíneas (*Cynodon plectostachys* y/o *guinea Megathyrsus maximus*). Las diferencias a favor del silvopastoreo se evidencian en la disponibilidad y calidad de forraje, eficiencia en el reciclado de nutrientes, en el bienestar animal, en la reducción de los costos de producción y en la mitigación de GEI.

Con relación al impacto ambiental que han venido ocasionando los sistemas ganaderos convencionales, es uno de los temas de mayor interés en los últimos años. Aunque la mayor parte de las discusiones y trabajos científicos se han orientado hacia el papel de los bosques y selvas tropicales, ahora llama la atención sobre el nuevo papel que cumplen los sistemas silvopastoriles con árboles, arbustos y pasturas para mitigar las mayores emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Los sistemas silvopastoriles presentan un balance positivo de menor emisión de GEI al sustituir parcial o totalmente la aplicación de fertilizantes nitrogenados, reducir la dependencia de granos o alimentos concentrados y almacenar mayor cantidad de carbono en el suelo y la biomasa terrestre. El potencial de fijación de nitrógeno atmosférico, el gran contenido de proteína y la gran capacidad de adaptación a suelos tropicales y su velocidad de crecimiento y recuperación de la leguminosa forrajera *L. leucocephala* (Huaxim) la convierten en una planta idónea para explotar comercialmente en sistemas ganaderos en la península de Yucatán. Solamente por incluir especies leguminosas locales como el Huaxim



y mejorar los sistemas de pastoreo, se tiene un potencial de mitigación de 3.4 ton/ha/año de CO<sub>2</sub>e, (Richard et al., 2019).

En el Cuadro 1, se muestran algunos indicadores productivos de trabajos realizados con sistemas silvopastoriles en diferentes países. Uno de los mayores impactos de los sistemas silvopastoriles se relaciona con los costos de producción. La ganadería convencional es altamente dependiente de insumos externos (agroquímicos, granos y concentrados), por tanto, altamente vulnerable a los mercados internacionales y el impacto del cambio climático. Por otro lado, los sistemas silvopastoriles se basan, principalmente en el uso de recursos locales, lo que permite reducir la dependencia de insumos externos y reducir los costos de producción.

SISTEMA	REGIÓN	INDICADORES PRODUCTIVOS		
		Carga animal	Ganancia de peso (g/animal/día)	Producción de carne (kg/ha/año)
Convencional	Australia	1.5	411	225
	México	1.0 a 2.5	500	182 a 456
	Colombia	1.2	130	57
Silvopastoril	Australia	3	822	910
	México	3	900	986
	Colombia	3.5	793 a 863	1013 a 1103

Modificado de: Cuartas et al., 2014

**CUADRO 1.** Indicadores productivos en dos sistemas de producción ganadera  
(Convencional y Silvopastoril)

## VINCULACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE LA CONTRIBUCIÓN DETERMINADA NACIONALMENTE DE MÉXICO

La estrategia de implementación del Modelo de Innovación para una Ganadería Sostenible está alineada con los objetivos de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de México:

- ✓ Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de 22% al 2030.
- ✓ Reducción del 51% en las emisiones de carbono negro para el 2030.

**MEDIDA DE ADAPTACIÓN:** Incrementar la conectividad ecológica mediante restauración de paisajes ganaderos, la captura de C y conservación de ecosistemas.

Además, el modelo de innovación en ganadería sostenible está alineado con las metas y objetivos de:

- 1 El Plan Nacional de Desarrollo (2018-2022)
- 2 La Ley General de Cambio Climático
- 3 El Plan Estatal de Desarrollo del estado de Yucatán (2018-2024), Campeche (2015-2021) y Quintana Roo (2016-2022)
- 4 El Acuerdo para la Sustentabilidad de la Península de Yucatán (ASPY, 2030)
- 5 La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible que impulsa la Organización de las Naciones Unidas (ONU), a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Estos son:

- ODM 1 Erradicar la pobreza.
- ODM 2 Poner fin al hambre y lograr la seguridad alimentaria.
- ODM 5 Promover la igualdad entre los sexos y el empoderamiento de la mujer.
- ODM 8 Promover el crecimiento económico.
- ODM 13 Adoptar Medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.
- ODM 15 Promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, luchar contra la desertificación.

## PAISAJES GANADEROS: DIAGNÓSTICO GENERAL

La ganadería extensiva es el uso de la tierra más difundido en México y quizá el más importante sistema de la expansión de la frontera agropecuaria, afectando regiones de importancia ecológica tales como las reservas naturas protegidas de selvas y bosques de la península de Yucatán. Cada año, enormes áreas naturales se pierden a causa de su reconversión con finalidades de aprovechamiento en pastizales y tierras de cultivo que se destinan tanto a la producción de cultivos alimentarios como a la de cultivos forrajeros. Esta transformación ejerce efectos perjudiciales en la disponibilidad hídrica local, en la fertilidad del suelo, en la biodiversidad y en el cambio climático.

La Península de Yucatán conformada por los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo, posee la mayor extensión de selvas y bosques de México. Cuenta con 13 millones de hectáreas que poseen una de las mayores diversidades de especies vegetales y animales (aunque varias se encuentran en peligro de extinción). Además, estos ecosistemas son una de las mayores reservas de carbono (aproximadamente 347 millones de ton) a nivel nacional (Varns et al., 2018). En estas reservas naturales habita el 40 % de la población de la Península de Yucatán (1.8 millones de personas) de ascendencia indígena.

La ganadería en la Península de Yucatán se desarrolla generalmente en sistemas de pastoreo extensivo. Este tipo de sistema requiere de grandes extensiones de pasturas en monocultivo como fuente principal de alimentación. En la época de lluvias, aunque los forrajes no son de la mejor calidad, los animales no sufren como en la época de invierno o de sequías, cuando la falta de lluvias, el calor intenso y la falta de sombra impactan fuertemente sobre la fisiología de los bovinos, induciendo el estrés calórico con consecuencias negativas en la productividad animal. La escasez e

irregularidad de lluvia, favorece el deterioro de los ecosistemas forestales, siendo el sobrepastoreo y los incendios forestales las principales causas que contribuyen, además, a las emisiones de GEI.

México cuenta con aproximadamente 64 millones de hectáreas de bosques, incluye templado y selvas tropicales, que abarcan el 32% del territorio nacional. Sin embargo, México ocupa uno de los primeros lugares en tasas de deforestación en el mundo, con rangos de deforestación que oscilan entre 75,000 ha/año a cerca de 1.98 millones de hectáreas por año.

Lo anterior, hace prioritario atender el problema de la deforestación y degradación

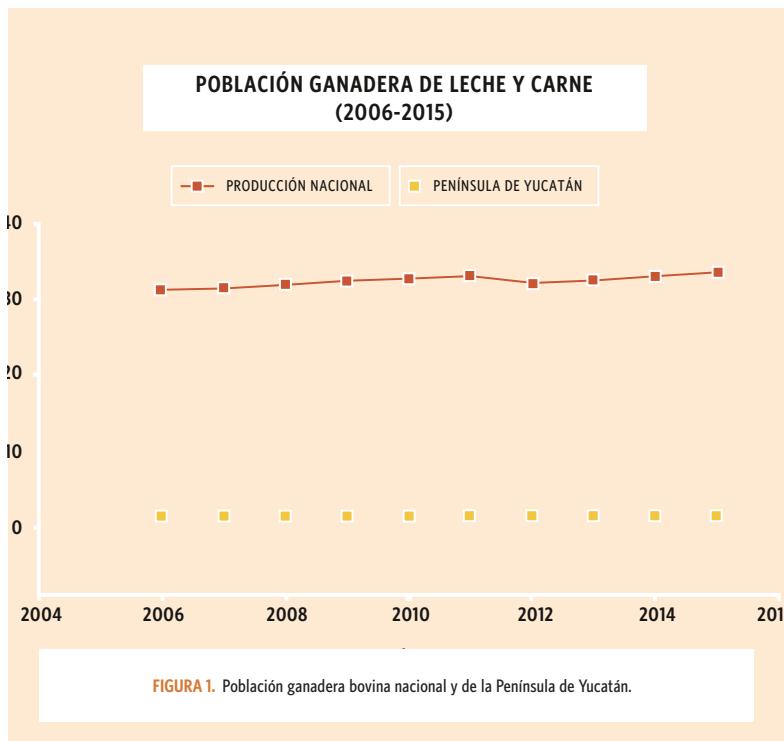
La Península de Yucatán posee la mayor extensión de selvas y bosques de México

**13 M**  
de hectáreas



forestal. Sin embargo, la presión que ejercen las actividades productivas, a través de su expansión para desarrollar cultivos básicos o áreas ganaderas, los incendios forestales, los asentamientos humanos irregulares, entre otros, afectan de manera importante las áreas forestales de la entidad (CONAFOR, 2014).

Aunque la Península de Yucatán tiene a la ganadería como una de las principales actividades, la región presenta los menores índices de productividad a nivel nacional. En Yucatán predominan los sistemas mixtos (doble propósito), carne y leche son muy frecuentes en hatos pequeños con un número no mayor a 50 animales por productor, donde la productividad de los hatos se encuentra por debajo del 50% de su potencial productivo. Lo anterior queda enmarcado en la Fig. 1, donde muestra la tendencia de la producción bovina de la Península de Yucatán con relación a la producción bovina nacional.



Adicionalmente y como consecuencia de un manejo inadecuado de los sistemas ganaderos más del 60 % de los pastizales están degradados o en proceso de degradación; con bajos niveles tecnológicos y una fuerte dependencia de insumos externos. Esta tendencia va en aumento y responde principalmente a la demanda creciente de alimentos de origen animal, lo que pone aún en mayor riesgo las áreas naturales. La conversión de selvas y bosques a pasturas representa casi el 15 % de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI), de los cuales el 40 % de dichas emisiones corresponde al metano producido durante la fermentación entérica, lo anterior, en gran medida por el consumo de forrajes de baja calidad nutritiva.

En los sistemas actuales de producción ganadera, la deforestación, los incendios y las consecuentes emisiones de GEI han hecho más vulnerables los ecosistemas tropicales. El rápido incremento en la concentración de GEI en la atmósfera está ocasionando cambios en los patrones de temperatura, precipitación, humedad, vientos y otras variables del clima. Este cambio está generando impactos diversos en la economía, salud y de las comunidades en general, pero principalmente en las comunidades rurales.

Los sistemas ganaderos no son la excepción y tendrán que modificar sus estrategias de producción para contribuir a aumentar su resiliencia ante los efectos del cambio climático, de tal manera que puedan mantener e incluso mejorar de manera sostenible los indicadores productivos, socioeconómicos y ambientales. En este sentido, la degradación de suelos y el proceso de desertificación en México son problemas serios que deben reducirse y revertirse para que la población siga contando con los servicios ecosistémicos de recursos sanos y productivos.

Las granjas familiares representan el 90% de las explotaciones agrícolas del planeta y producen más del 80% de los alimentos a nivel mundial. Los agricultores familiares gestionan además cerca del 75% de todas las tierras agrícolas. Sin embargo, paradójicamente, a menudo son pobres y padecen inseuridad alimentaria. Reconocer las innovaciones exitosas que ya han sido usadas y ayudar a difundirlas a otros agricultores, es vital para el futuro de la agricultura y la alimentación. Necesitamos ampliar las innovaciones en la agricultura para poder alimentar a una población creciente y cada vez más urbanizada.

En Yucatán, la ganadería se practica en la mayoría de los 106 municipios de Yucatán, en más de 15,200 ranchos, donde más de 80 mil habitantes dependen directamente de las actividades ganaderas con una generación de empleos directos de aproximadamente 17,000 y 35,000 indirectos, (<https://www.gob.mx/agricultura/yucatan/articulos/dia-nacional-de-la-ganaderia-actividad-del-sector-primario-que-nos-garantiza-alimento?idiom=es>)

La ganadería se practica en la mayoría de los 106 municipios de Yucatán en

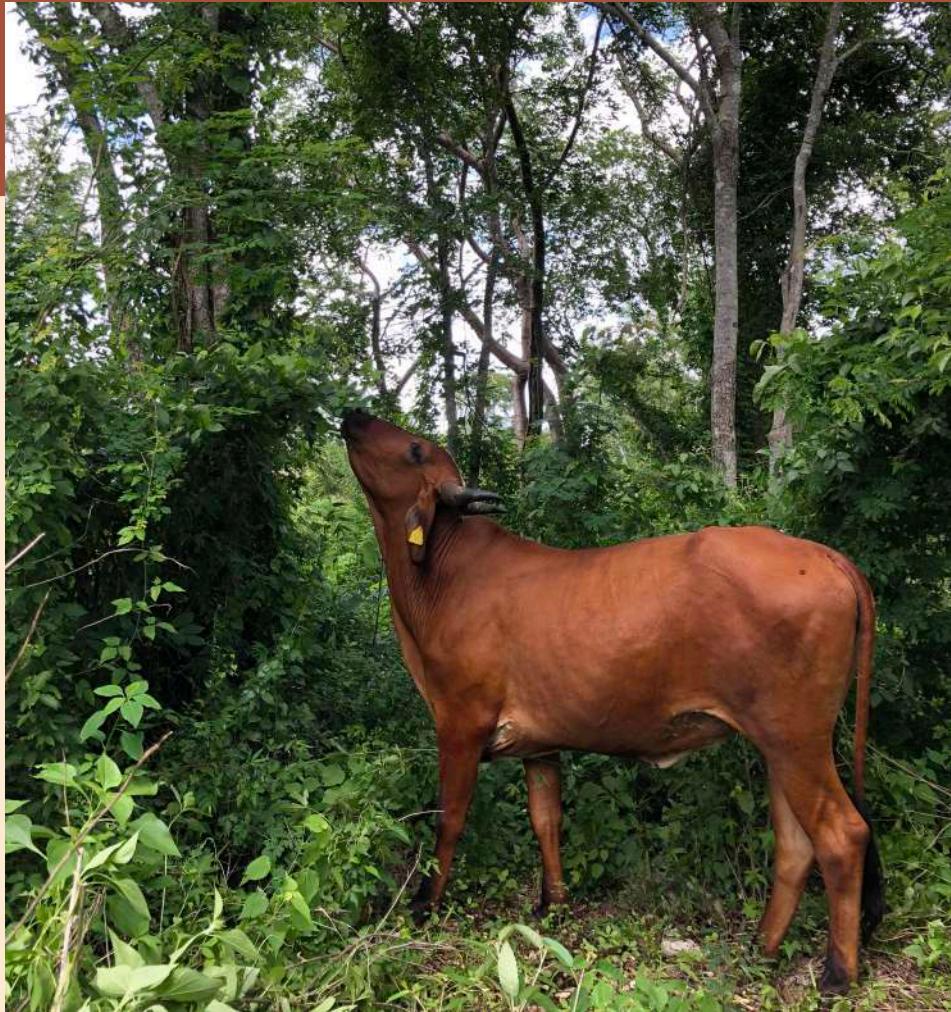
**+ 15,200**  
ranchos



## CAPITULO II: LA GANADERÍA EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

10

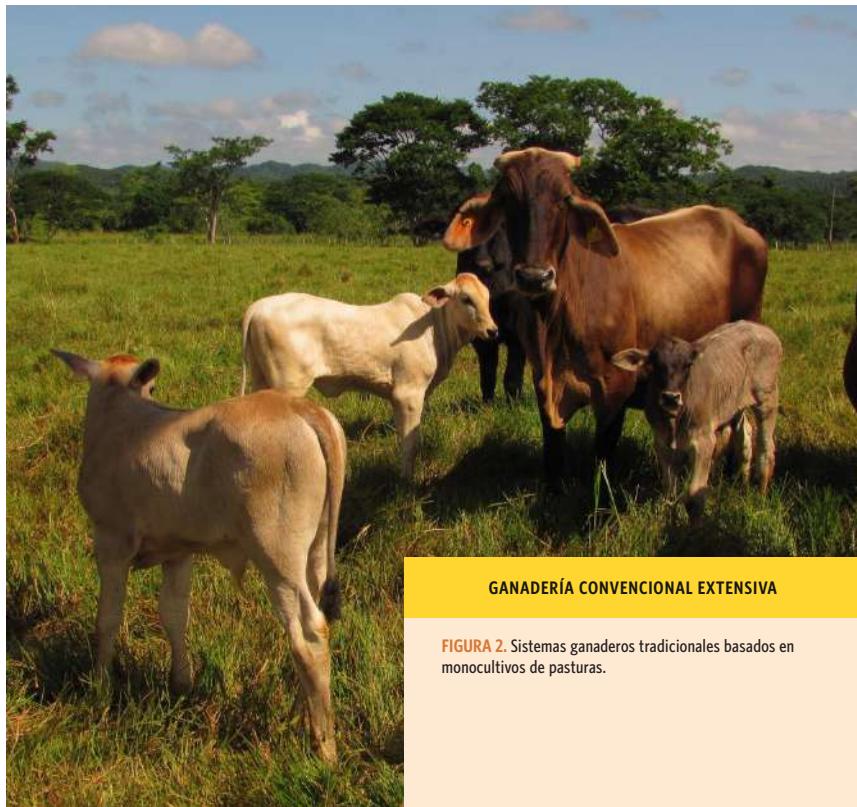
10



## INTRODUCCIÓN

La ganadería en la Península de Yucatán es una de las principales actividades practicadas por miles de familias en las áreas rurales de todos los municipios del estado. La ganadería, genera miles de empleos y es la principal actividad productora de leche y carne, sin embargo, la ganadería del estado presenta valores productivos por debajo de la media nacional. Con relación a la producción de leche y carne, Yucatán ocupa de los últimos lugares, sólo por encima del estado de Quintana Roo. Diversos factores sociales, económicos y

tecnológicos se encuentran involucrados en esta baja productividad. El deterioro de los forrajes, el constante incremento en el precio de los granos básicos utilizados en la elaboración de concentrados, las altas tasas de deforestación, contaminación y desertificación son algunas de las causas más importantes que obligan a reorientar los sistemas de producción animal en el estado.



**FIGURA 2.** Sistemas ganaderos tradicionales basados en monocultivos de pasturas.

Las unidades de producción de ganado bovino de carne y leche en el Estado de Yucatán se caracterizan por ser de tipo extensivo (Fig. 2), en las cuales se emplean vastas extensiones de tierra para el cultivo de pastos nativos e introducidos. La alimentación del ganado bovino bajo dichas condiciones se basa, principalmente, en el pastoreo de especies de pastos introducidos tales como el Guinea (*M. maximus*), Estrella de África (*Cynodon nemfuensis*), Buffel (*Cenchrus ciliaris*), Insurgente (*Bracharia brizantha*), así como de corte: *Pennisetum purpureum*.



**FIGURA 3.** La ganadería en el estado de Yucatán se caracteriza por utilizar pastos de baja calidad.

## CLIMA Y PRODUCCIÓN DE FORRAJES

La ganadería yucateca utiliza aproximadamente 158,000 has de pasturas (entre el 20 al 25 % del territorio estatal), principalmente basados en el uso exclusivo de gramíneas como el Brizantha, Guinea o pasto Estrella, este modelo de producción conlleva serios problemas nutritivos y productivos que limitan los efectos de las actividades ganaderas del estado. Los pastos son cultivados principalmente bajo condiciones de temporal, aunque el riego es una de las tecnologías empleadas por algunos productores. Existen fluctuaciones en el rendimiento (toneladas de materia seca por hectárea), composición química (proteína cruda, fibra detergente neutra) y calidad (digestibilidad de la materia seca) de los pastos a través del año, debidas en buena medida a las variaciones en la precipitación pluvial y en el fotoperiodo (Fig. 3).

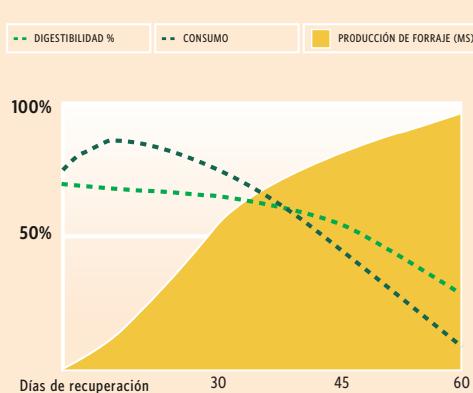


**FIGURA 4.** El cambio climático afecta la calidad y producción de forrajes tropicales.

13

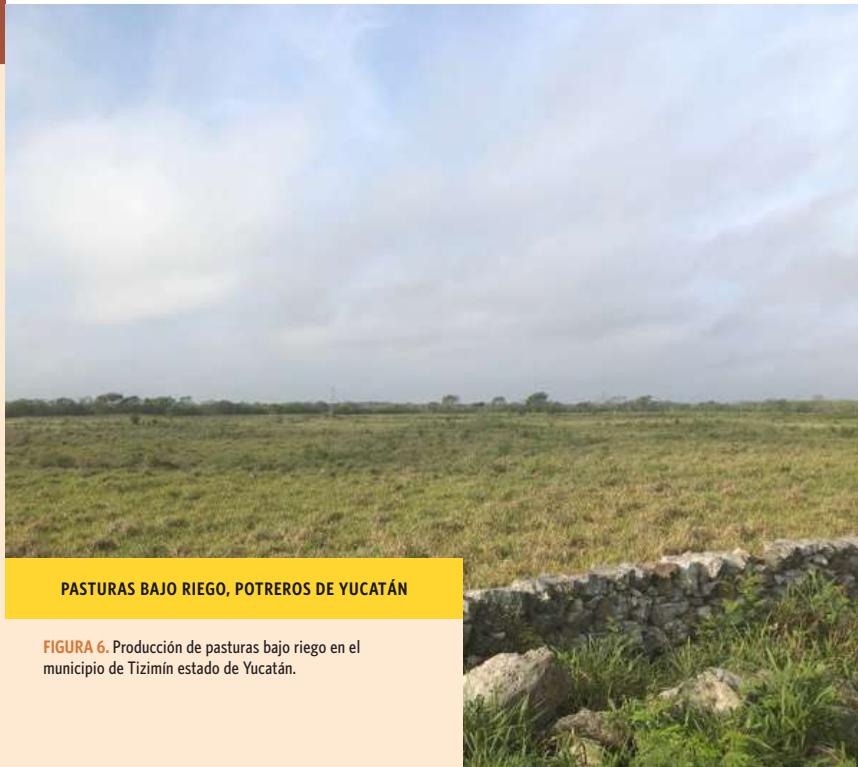
En la Península de Yucatán, se presentan tres estaciones a través del año: la de secas, la de lluvias y la de nortes. Durante la estación de secas generalmente hay disponibilidad de pasto seco (Fig. 4), el cual tiene una baja concentración de proteína cruda (<7%), (Fig. 5) una alta concentración de fibra detergente neutra (~80%), una baja degradabilidad ruminal de la materia seca (~45%) y como resultado de lo anterior, una baja concentración de energía metabolizable (<7 MJ/kg materia seca) y bajo consumo de alimento (kilogramos de materia seca por día).

El cambio climático afecta directamente en la calidad de los forrajes, principalmente modificando sus características



**FIGURA 5.** Efecto del tiempo de recuperación sobre la producción y calidad de los forrajes.

físicas y químicas y éstas a su vez afectan el consumo y la digestibilidad (Fig. 6). La falta de lluvia y altas temperaturas aceleran la senescencia de los forrajes tropicales, afectando negativamente su calidad. En condiciones tropicales de estrés moderado la maduración de los forrajes se acelera rápidamente dando lugar a mayor relación de tallo-hoja y mayor contenido de paredes celulares, afectando directamente la digestión. Otro grave impacto de las altas temperaturas se relaciona con el consumo voluntario debido a la termorregulación, ya que se produce más calor durante la fermentación ruminal (Fig. 7).



## SISTEMA DE PRODUCCIÓN BOVINA EN PRADERAS TROPICALES EN YUCATÁN



**FIGURA 7.** Efecto de la temperatura sobre la producción de rumiantes en el Trópico.

A pesar de que se han logrado avances considerables en el conocimiento de los factores que limitan la producción bovina tropical, la ganadería en estas regiones de México aún mantiene una baja productividad por unidad de superficie. Es necesario realizar acciones que contribuyan al incremento en la eficiencia de la utilización de los nutrientes (energía, proteína) en dichos sistemas productivos, particularmente a través de la incorporación de tecnologías que reviertan varias de las limitantes propias de las pasturas tropicales.

El país posee un inventario de ganado bovino de alrededor de 33 millones de cabezas, millones de las cuales pastan en praderas tropicales. Sin embargo, la productividad es

baja. Los resultados de productividad animal (ganancia de peso, producción de carne por hectárea) descritos en el Cuadro 1, se obtuvieron en experimentos con bovinos alimentados exclusivamente bajo condiciones de pastoreo (sin suplementación alimenticia) y sin la realización de prácticas de riego o fertilización de los pastos. El Cuadro 1 muestra las modestas ganancias de peso (308-396 g/animal/día) obtenidas en toros en pastoreo de los pastos Guinea y Buffel en Tizimín, Yucatán.



**FIGURA 8.** Ganadería convencional con ausencia de sombra natural para el descanso de los animales.

Adicionalmente, como las pasturas dependen principalmente de la distribución y cantidad de lluvia y su relación con la capacidad del suelo de mantener la humedad, en suelos como los de gran parte de la península de Yucatán son en gran medida superficiales y sin la protección de las especies arbóreas y arbustivas los hace muy susceptibles a la frecuente falta de humedad y por consiguiente se afecta significativamente la calidad y disponibilidad de forraje para mantener la producción animal (Fig. 7). Adicionalmente, las pasturas tienen un sistema radicular muy superficial (10-20 cm de profundidad), lo que limita en su desempeño en las condiciones de suelo y precipitación de la península de Yucatán.

PASTO	SISTEMA DE PASTOREO	Carga animal (No. de toros/ha)	Producción de carne/ha (kg)	Producción de carne/ha (kg)
Guinea	Rotacional	1.5-2.0	308	192
Buffel	Rotacional	1.5-2.0	396	250

Molina, Garza y Torres, 1976.

**CUADRO 2.** Producción de carne bovina en pasturas convencionales en el estado de Yucatán.

## PRODUCCIÓN ANIMAL Y ZONA DE BIENESTAR

Bajo el sistema de producción extensivo convencional, se propicia que continuamente se deforesten más áreas para dedicarlas a la ganadería con impactos fuertes en los recursos naturales y el bienestar animal, incrementan las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y favorecen el cambio climático (Fig. 8).

El rango de temperatura ambiental en que la temperatura del cuerpo se mantiene constante con un esfuerzo mínimo de los mecanismos termorreguladores se denomina Zona de bienestar (Fig. 9). Bajo esta zona, no existe sensación de frío ni de calor. Cuando la temperatura ambiente se encuentra fuera de los rangos de bienestar pasando hacia el frío o el calor, el animal activa sus mecanismos de defensa:

Los mecanismos físicos de defensa contra el calor: vasodilatación capilar periférica sudoración que genera jadeo, aumento de frecuencia cardíaca e incremento de frecuencia respiratoria.

Al incrementarse la temperatura (por encima de "B" o temperatura crítica máxima) se intensifica el jadeo. En respuesta al incremento de la temperatura por encima de "C" aumenta más el jadeo. Sin embargo, el enfriamiento logrado de esta manera es insuficiente para mantener la homeotermia, de manera que la temperatura corporal comienza a subir. Esto provoca un aumento en el índice metabólico que finalmente lleva a la hipertermia o muerte por calor, si la temperatura está por encima de "D" (Fig. 9).

La zona de confort se encuentra entre los 6 y 21 °C, en estas condiciones los animales obtienen por medio de los mecanismos termorreguladores normales, el ajuste de la temperatura interna, sin gasto alguno de energía adicional. Cuando las temperaturas exceden los 27°C aun en situaciones de baja humedad ambiental, los animales se encuentran fuera de la zona de confort y empiezan a presentar dificultades para mantener la temperatura corporal.

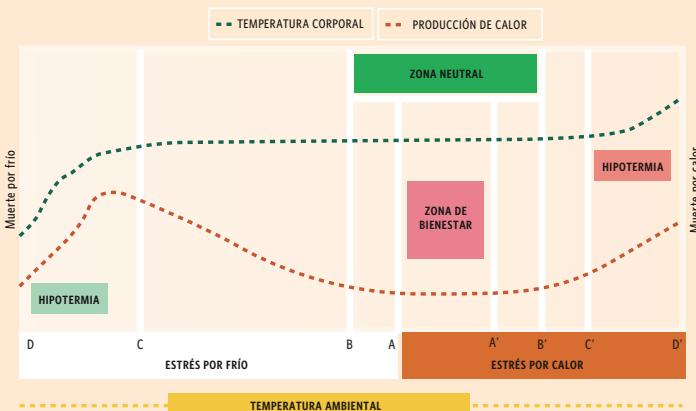


FIGURA 9. Efecto de las temperaturas ambientales y su relación con la producción animal.  
(Adaptado de Silanikove, 2000)

En zonas más cálidas comprendidas entre los 30 °C de latitud norte y al sur de la línea ecuatorial, entre los trópicos de cáncer y capricornio, prevalecen temperaturas, humedad y radiación solar por encima del rango del confort para una producción eficiente de ganado bovino. Con frecuencia, en estas regiones, los animales rebasan la capacidad de sus mecanismos normales para la disipación del calor que generan. La combinación de altas temperaturas con humedad ambiental provoca condición de estrés que afectan la fisiología y homeostasis de los animales. Diversas investigaciones han encontrado las vacas en producción de leche son particularmente sensibles al estrés por calor, debido al elevado metabolismo de la vaca lechera durante la lactancia.

Desde hace varios años se dispone de un índice de Temperatura Humedad, ITH. El aumento de cada punto en el ITH por encima de los 18°C significa en ganado de leche:

- Disminución de 0.26 kilos de leche/vaca/día
- Disminución del consumo de 0.23 kg MS de forraje animal/día
- Incremento de 0.12°C en la temperatura corporal de la vaca

Los elementos meteorológicos más importantes que se oponen a la disipación del calor por parte del animal hacia el medio ambiente son la temperatura y la humedad ambiental.

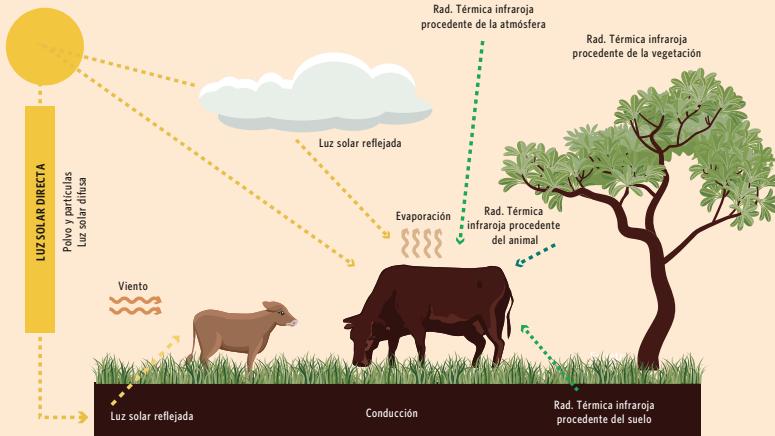
Los mecanismos asociados con la conducta sirven muchas veces como una forma de defensa contra el calor (por ej. búsqueda de sombra y lugares más frescos). No existe en todas las especies la capacidad de disminuir su producción de calor. En todo caso, esta capacidad es tan baja que surte muy poco efecto. El animal es capaz de soportar sólo un pequeño aumento de su temperatura corporal: de 3° a 6°, aumentos superiores resultan letales.



**FIGURA 10.** Animales en ausencia de sombra con problemas de consumo por altas temperaturas.

La transferencia de calor desde el cuerpo del animal hacia el ambiente se da mediante los procesos de radiación, conducción y convección (Fig. 11). Sobre los factores ambientales, el animal puede ejercer un mínimo control, mientras que sobre la evaporación el animal ejerce un observable control fisiológico. Dentro del rango de temperatura ambiente, los animales no tienen que ejercer alguna acción adicional para mantener la temperatura corporal, en otras palabras, los animales se encuentran en una zona de confort térmico (adecuada para la producción de leche o carne en la ganadería bovina).

Cuando las vacas superan el límite superior de la zona termo neutral, el mantenimiento de su temperatura corporal normal empieza a alterar su tasa metabólica basal. Cuando se combinan un incremento de temperatura y de humedad por períodos prolongados se genera un estado de respuesta fisiológica y de comportamiento conocido como estrés generado por factores ambientales que afectan el estado normal del bienestar animal (Fig. 10 y 11). Otros factores como la velocidad del viento, la radicación y el contenido de humedad tienen fuerte influencia sobre los umbrales de confort. Una primera respuesta de las vacas al estrés calórico es reducir el consumo de alimento, afectando principalmente a los animales en producción de leche.



**FIGURA 11.** Factores climáticos que afectan el confort de la ganadería tropical.



**FIGURA 12.** Animales con problemas de estrés calórico por la ausencia de sombra en pasturas convencionales

### 1 La productividad del animal.

Diversos trabajos demuestran la disminución en producción de leche o ganancia de pesos en animales expuestos a altas temperaturas en regiones tropicales. El efecto en la baja de producción es provocado, principalmente por una disminución del consumo voluntario. Los factores que mayor injerencia tienen sobre el consumo de materia seca son las altas temperaturas combinadas con la humedad relativa (HR).

### 2 La aptitud reproductiva.

Las complicaciones que generan las altas temperaturas sobre la ganadería bovina están relacionadas con la alteración del metabolismo, generando que los animales tengan un desbalance hormonal impidiendo que demuestre adecuadamente su reproducción. Es importante considerar que la capacidad de disipación de calor en vacas en etapa reproductiva y productiva se encuentra aún más limitada en los meses de verano, debido a la cantidad de calor metabólico generado. Lo anterior, puede comprometer la fertilidad de las vacas, debido a que un incremento de 0.5 °C en temperatura uterina, por arriba de 38.6 °C, produce reducciones serias reducciones en el porcentaje de preñez. Además, la elevada temperatura ambiental conlleva un aumento de la temperatura uterina, que incrementa la mortalidad embrionaria.

## CALIDAD DE LOS FORRAJES TROPICALES

Durante la estación de secas generalmente está disponible pasto seco, el cual tiene una baja concentración de proteína cruda, una alta concentración de fibra detergente neutra (Cuadro 3), una baja digestibilidad aparente de la materia seca y como resultado de lo anterior, una baja concentración de energía metabolizable, dando lugar a un bajo consumo de materia seca.

Diversos resultados de análisis químicos realizados a los pastos Guinea (*M. maximus*), Insurgente (*B. brizantha*) y Taiwán (*P. purpureum*) en Yucatán (Cuadro 2), indican que durante la estación de secas, la concentración de proteína cruda es baja (rango: 2.59-6.62 %) y limitante para el aprovechamiento en el rumen de la materia seca consumida, y la concentración de fibra detergente neutra es alta (77 %), provocando mayor tiempo de retención de la fibra en el rumen, lo cual reduce el consumo de pasto por el animal, y por lo tanto la producción de carne o producción de leche. Los microorganismos que habitan en el rumen no tendrían disponible, bajo tales circunstancias, suficiente nitrógeno (N-NH<sub>3</sub>) para poder aprovechar con eficiencia el pasto consumido. Bajo tales condiciones, la suplementación del ganado bovino con fuentes de nitrógeno fermentable en el rumen (folajes de *Brosimum aliscastrum* o *L. leucocephala*) es necesaria para proporcionar los nutrientes que los microorganismos requieren para la fermentación ruminal del pasto consumido.

20

ESPECIE PASTO	Materia seca	Proteína cruda	Fibra detergente neutra
Guinea ( <i>Megathyrsus maximus</i> )	<b>92.28</b>	<b>3.75</b>	<b>77.55</b>
Guinea ( <i>M. maximus</i> )	<b>79.38</b>	<b>2.59</b>	<b>77.92</b>
Insurgente ( <i>Brachiaria brizantha</i> )	<b>35.44</b>	<b>6.62</b>	<b>70.14</b>
Taiwán ( <i>Pennisetum purpureum</i> )	<b>35.52</b>	<b>5.44</b>	<b>77.93</b>
Taiwán ( <i>P. purpureum</i> )	<b>59.05</b>	<b>4.49</b>	<b>71.91</b>

**CUADRO 3.** Concentración (%) de proteína cruda y fibra detergente neutra en pastos de la Península de Yucatán cosechados durante la estación seca (nov-mayo).

Con relación a las ganancias de peso de los animales en pastoreo son muy limitadas y frecuentemente el poco peso que ganan los animales en la época de lluvias (mayor calidad y producción de forraje), lo pierden durante los meses de la época de sequías o cuando los días del año se acortan. En un rancho comercial localizado en Tizimín, Yucatán; se encontró que, en ganado bovino en crecimiento, la ganancia de peso por día y la producción de carne se reducían conforme se incrementaba la carga animal de 1.4 a 4.2 UA/ha (Cuadro 4). Se observó que con una carga animal de 1.4 unidades animal por hectárea sólo se obtienen ganancias de peso modestas (341 g/cabeza/día) en la ganadería tropical de Yucatán durante la época de secas.

	CARGA ANIMAL (UA/HA)		
	1.4	2.8	4.2
Ganancia de peso g/cabeza/día	341	3	-32
Producción de carne por ha (kg en 120 días)	63.5	1.5	-21.1

Flores Chuc, 2009.

**CUADRO 4.** Producción de carne en bovinos en pastoreo en Tizimín, de Yucatán.

Por otro lado, los elevados costos por concepto de alimentación debido al incremento constante en el precio de los granos forrajeros (maíz, sorgo, soya), representa uno de los principales factores que determinan la escasa rentabilidad de la ganadería tropical, afectando directamente el ingreso del productor. No obstante, existe un elevado potencial para incrementar el rendimiento de leche y ganancias de peso en los sistemas ganaderos.

La Península de Yucatán posee una de la mayor diversidad en especies de leguminosas muy bien adaptadas a las condiciones climáticas y edáficas que pueden exitosamente ser incorporadas a los sistemas ganaderos y reducir significativamente los costos por concepto de alimentación. Entre éstas, la *Leucaena leucocephala* es una planta adaptada a una variedad de condiciones climatológicas en México y que aporta nutriente de buena calidad para producir leche a través del año. En las secciones siguientes se aborda con mayor detalle la forma de integrar estas especies en los sistemas ganaderos.

## CAPITULO III: CAMBIO CLIMÁTICO Y PRODUCCIÓN ANIMAL

22

22



## CONSECUENCIAS ECONÓMICAS

El cambio climático ha sido una respuesta del ambiente a diversas alteraciones antropogénicas, entre ellas se relaciona al manejo inadecuado de los sistemas agropecuarios (agricultura y ganadería). Tener animales en pastoreo en condiciones tropicales sin ningún tipo de sombra tiene graves consecuencias en las ganancias de peso y producción de leche de los animales. Por ejemplo, para el caso d los productores de leche, mantener animales en pastoreo por encima de los 35°C puede causar una merma de hasta el 25% en la producción de leche. En otras palabras, si una vaca en condiciones de la Península de Yucatán produce 1500 litros de leche por hectárea (300 días de lactación), en las condiciones actuales de clima cálido y húmedo tendría una reducción de 375 litros de leche/ha, de tal forma que un productor pequeño con diez animales en producción estaría dejando de producir 3710 litros de leche. La situación anterior es sin considerar, la de por sí ya baja productividad y calidad de las pasturas de la península de Yucatán, lo cual pone en un riesgo permanente la rentabilidad de la ganadería si continúa manejando bajo los mismos esquemas de hace años.

El manejo inadecuado de los sistemas ganaderos en los trópicos ha propiciado incrementar las tasas de deforestación, fragmentación y erosión de los suelos y de las pasturas tropicales. Durante más de 30 años, la

forma más común de producción ganadera es establecer y mantener extensas áreas de pasturas en monocultivo con la ausencia y frecuentemente con el combate de arbustivas o arbóreas con un afán de mantener los potreros "limpios" de arvenses.

El estrés en los sistemas de producción animal se entiende como las condiciones medio ambientales (temperatura y humedad) adversas al bienestar animal. El clima afecta los sistemas de producción animal de forma directa e indirecta. Afecta calidad y cantidad de los forrajes, los requerimientos de agua y energía.

En la actualidad, mantener los potreros sin árboles trae graves consecuencias en la producción animal con pérdidas económicas muy importantes. En los sistemas de producción animal que se practican en la península de Yucatán, se combinan dos factores ambientales que contribuyen a la baja rentabilidad de los sistemas ganaderos: Los incrementos en la temperatura y humedad relativa que afectan negativamente el consumo de forraje, por lo tanto, afecta negativamente la producción de leche y las ganancias de peso en los animales.

## GANADERÍA Y EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

La producción ganadera de la península de Yucatán se encuentra fuertemente vinculada con los problemas de degradación del suelo y baja productividad (Fig.12). Se ha venido demostrando que la explotación inadecuada de bosques y selvas, las malas prácticas agropecuarias, la acelerada demanda de alimentos derivada del crecimiento poblacional, y en general el manejo inadecuado de los sistemas ganaderos, ocasionan baja sostenibilidad de los sistemas productivos. Estimaciones sobre la deforestación



**FIGURA 13.** Sistemas de producción ganadero con fuerte degradación de pasturas fomenta mayor emisión de GEI.

en la península indican que cada año se pierden aproximadamente 85,000 hectáreas de selvas (emitiendo 5.7 millones de toneladas de dióxido de carbono), que en su mayoría son reconvertidas para fines agrícolas y ganaderos (TNC, 2018), con graves consecuencias ambientales.

La ganadería; principalmente los sistemas de producción extensiva (Fig. 13) son una de las fuentes más importantes de la emisión de gases que producen el efecto invernadero asociado al calentamiento global. Asimismo, son causa importante de la pérdida de biodiversidad y contaminación del agua

La actividad ganadera es una de las importantes fuentes emisoras de metano ( $\text{CH}_4$ ), este gas de efecto invernadero tiene un potencial de calentamiento mucho mayor que el  $\text{CO}_2$  y el óxido nitroso mayor que el metano. El  $\text{CH}_4$  resulta de la fermentación entérica de los rumiantes durante la cual los carbohidratos complejos (celulosa principalmente) presentes en el pasto y otros forrajes se descomponen en el tracto digestivo. Los rumiantes contribuyen con aproximadamente 18-20% del  $\text{CH}_4$  producido anualmente a nivel mundial. Sin embargo, las emisiones de  $\text{CH}_4$  se pueden controlar mejorando los sistemas de producción animal, principalmente la calidad de los forrajes o en caso de forrajes de mala calidad, se pueden utilizar la suplementación con especies de mayor calidad.

## DIÓXIDO DE CARBONO

Debido a la pérdida de gran parte de la cobertura vegetal, el cambio de uso de suelo se ha convertido en una de las principales causas que contribuyen en la emisión de gases de efecto invernadero; uno de los gases con mayor importancia desde el punto de vista del calentamiento global es el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). El  $\text{CO}_2$  es el responsable del 50% del calentamiento global a través de la absorción de la radiación térmica emitida por la superficie de la tierra. La degradación de pasturas contribuye de manera significativa al aumento del  $\text{CO}_2$ , ya que en estos sistemas hay una rápida descomposición del carbono de la materia orgánica.

En el trópico, la temperatura ambiente reduce la producción y reproducción animal al entrar en el rango de temperatura fuera de la termoneutralidad o zona de confort (Fig. 9). Los animales al entrar en estrés calórico y disminuir su capacidad de disipar el calor interno, reducen el tiempo de pastoreo, consumo voluntario y por tanto la rumia, lo cual tiene efectos negativos en el buen desarrollo de los animales en pastoreo.

La incorporación de árboles a los sistemas de producción animal influye de modo favorable en los agroecosistemas tropicales, ya que generan microclimas que mantienen a los animales dentro o cerca de su rango de termoneutralidad. La copa de árboles y palmas asociadas en sistemas silvopastoriles reducen de temperatura de entre

2 - 9°C, en comparación a praderas en monocultivo basados en gramíneas. La cobertura de los árboles interfiere en el paso de la radicación solar hacia los animales mejorando las condiciones de descanso o rumia de los animales en el sentido de hacer más eficiente el pastoreo y/o ramoneo y reducir la mano de obra llevando o trayendo los animales del corral a los potreros o viceversa.

Aunque las pasturas tropicales son una fuente importante de secuestro de carbono, su potencial se encuentra limitado en comparación a sistemas silvopastoriles o las selvas o bosques tropicales. Por ejemplo, en sistemas de pasturas degradadas se capturan 22 t de C/ha, en pasturas mejoradas de *B. brizantha* se estima que se puede capturar entre 58 a 89 t de C/has (Fisher et al., 1994), mientras que en un sistema silvopastoril 170 ton C/ha, considerando la producción de raíces y biomasa aérea

## EROSIÓN Y DEFORESTACIÓN

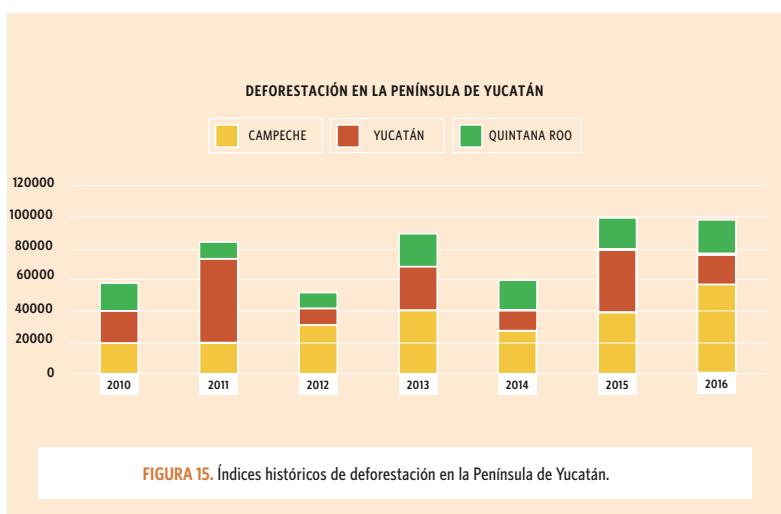
Con frecuencia, el resultado de la deforestación es la erosión del suelo. Cuando no hay árboles que protejan el suelo, la lluvia golpea directamente el suelo en lugar de gotear gradualmente desde las ramas y caer suavemente sobre el piso forestal. Esto significa que cuando llueve, más agua golpea más fuertemente el suelo, arrastrándolo. Una extensa erosión puede provocar deslizamientos de terrenos. Muchos de estos deslizamientos empiezan en laderas desnudas o en la parte inferior de caminos madereros inclinados. Las raíces de los árboles son responsables de mantener el suelo en su lugar, funcionando como un marco que evita que sea erosionado.

Cuando se cortan los árboles, es común que las raíces permanezcan en el suelo, pero ellas eventualmente se pudrirán. Esto determina un gran aumento en la cantidad de deslizamientos que ocurren 10 a 20 años luego de haberse cortado los árboles en una zona (Fig. 14). Además, los suelos pierden la capacidad de retención de humedad, son más propensos a las quemas y se encuentran más limitados a la regeneración por la pérdida de la fertilidad.

En relación con la actividad ganadera, el principal impacto ambiental negativo es la deforestación (Fig. 15) para la siembra de pastizales, así como el sobrepastoreo o consumo



**FIGURA 14.** La ganadería convencional fomenta la deforestación y deterioro de la fertilidad de suelo.



## DEGRADACIÓN DE SUELOS

La degradación es un proceso que entre otros factores, origina la pérdida o el empobrecimiento del suelo; sus causas pueden dividirse en dos grupos: las variaciones climáticas y las actividades humanas; esta degradación inicia con la eliminación de la cobertura vegetal que, además de los problemas ambientales que trae consigo como la pérdida de biodiversidad, el aumento en el microclima y disminución en la retención del agua, tiene como consecuencia una reducción en el reciclaje de nutrientes y por ende, pérdida de la fertilidad de los suelos. El proceso más importante de degradación del suelo en México es el químico, ya que los efectos más notorios se presentan por la declinación de la fertilidad y la reducción del contenido de la materia orgánica, lo que propicia el aumento de zonas improductivas para cualquier actividad económica.



**FIGURA 16.** Deforestación en Campeche para la producción de maíz en campos menonitas.

Fuente: Erich Shlegel, TNC 2017.

Por otro lado, la deforestación envía a la atmósfera millones de toneladas de carbono al año. La destrucción de los bosques asciende a casi 2,000 millones de toneladas de carbono que emiten la atmósfera todos los años. En cifras mundiales, las reservas de carbono contenidas en la biomasa forestal disminuyeron por lo menos 1.1 giga toneladas al año entre 2000 y 2005, a consecuencia de la deforestación interrumpida y la degradación de los bosques.

Las prácticas agropecuarias convencionales adoptadas durante varios años han sido una de las principales causas de la degradación del suelo. La remoción excesiva y constante de la vegetación que provoca un desbalance de nutrientes dejando los suelos sin suficientes reservas para mantenerse productivos (Fig. 16). El problema se agudiza cuando los nutrientes extraídos no son reciclados a su lugar de origen, este es el caso de la ganadería extensiva con base en pasturas en monocultivo.

La degradación del suelo afecta directamente la productividad de forrajes y consecuentemente la productividad de los animales (leche y carne). En las regiones tropicales la pérdida de fertilidad de suelos dedicados a la ganadería constituye una de las causas que provoca la degradación de las pasturas, teniendo en cuenta que más del 70% de las pasturas convencionales (grandes extensiones en monocultivo) se encuentran en algún grado avanzado de degradación, es muy grave la situación que la mayoría de los sistemas de producción bovina se basan en pasturas.



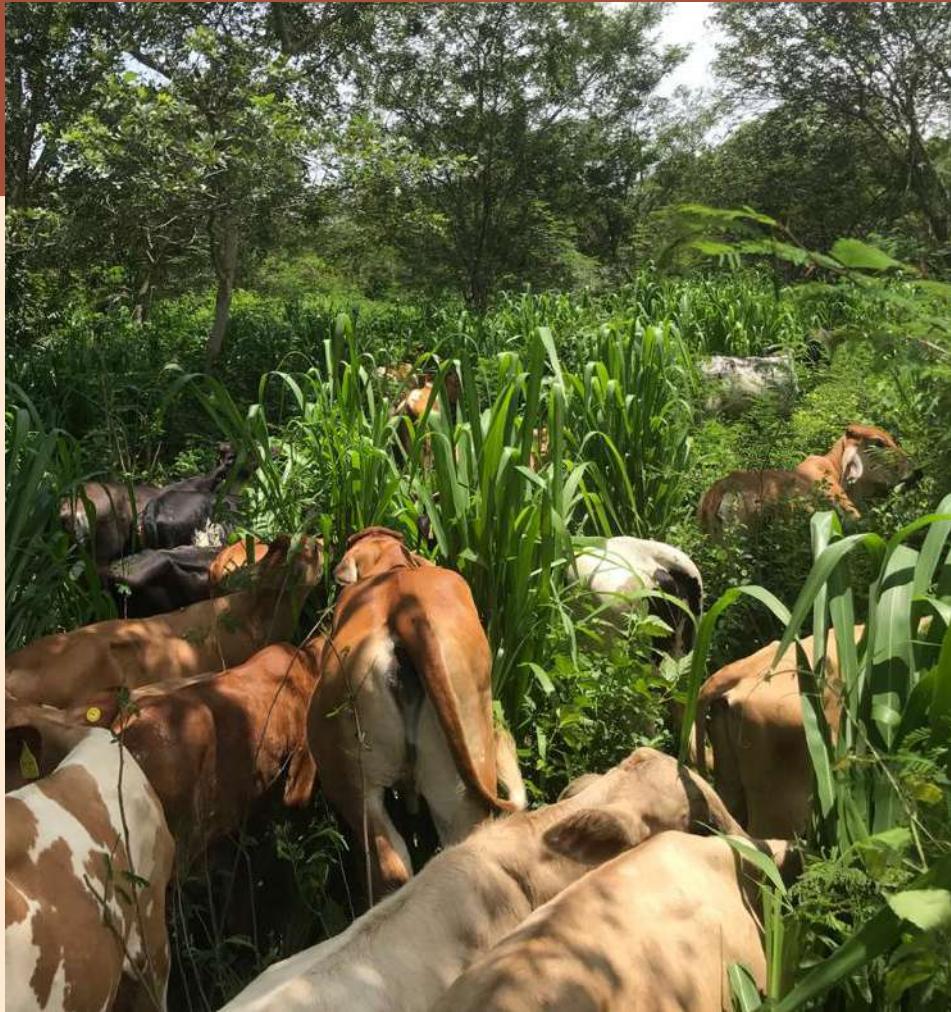
**FIGURA 17.** La ganadería convencional fomenta la deforestación y deterioro de la fertilidad de suelo.

Con relación a la degradación de pasturas, los factores causantes son varios y todos se encuentran estrechamente vinculados. Sin embargo, quizás de los más importantes podríamos mencionar a la fertilidad del suelo, el manejo inadecuado de los potreros y la posterior invasión de arvenses, el limitado reciclaje de nutrientes y la falta de nitrógeno en el suelo.

## CAPITULO IV: RESTAURACIÓN DE PASTURAS DEGRADADAS

28

28



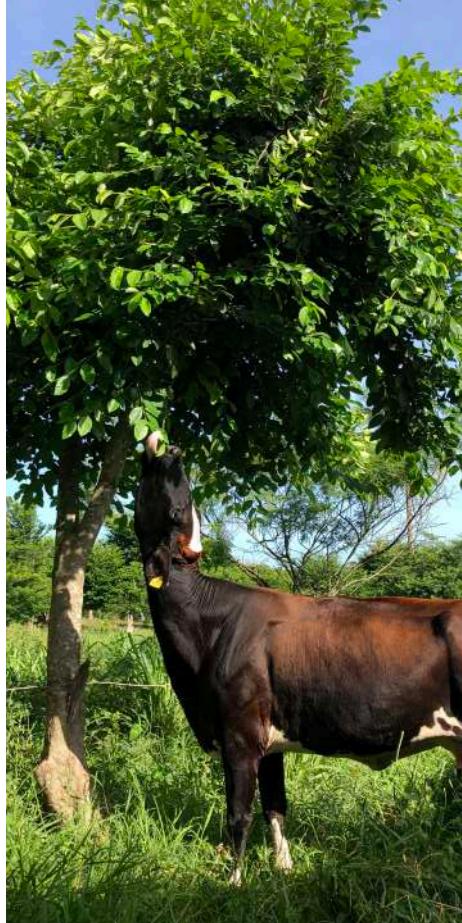
## SISTEMAS SILVOPASTORILES: ESTRATEGIA AGROECOLÓGICA PARA RESTAURAR PAISAJES GANADEROS

Los ganaderos en los trópicos actualmente enfrentan grandes retos económicos y ambientales, por lo que necesitan conocer las oportunidades y amenazas del medio productivo en que se desarrollan, para desafiar y vencer los factores que afectan su competitividad. Es ampliamente conocido que las regiones tropicales poseen fuertes limitantes que impiden incrementar la productividad y la producción agropecuaria. Las condiciones actuales de fertilidad de suelo y los factores climáticos, son algunas de las principales limitantes. Sin embargo, también existen componentes importantes para potenciar la producción bovina: alta capacidad para producir leche y carne, alta biodiversidad y decenas de especies con potencial forrajero, mano de obra disponible y necesidad de empleos, así

como una alta demanda de alimentos. La gran mayoría de estos productores se dedican a la ganadería de doble propósito (producción de leche y carne), y lo hacen tratando de reducir los costos al máximo, dependiendo principalmente de forrajes verdes, o residuos de cosecha.

En este sentido, los sistemas silvopastoriles (SSP), juegan un papel muy importante en la sustentabilidad de la ganadería tropical. Los sistemas silvopastoriles son sistemas ganaderos basados en principios agroecológicos que cumplen funciones vitales para la restauración de paisajes ganaderos, incrementar la rentabilidad de la ganadería y ser un factor determinante para evitar el abandono y la migración de las familias. Los SSP, son una de las mejores estrategias ampliamente recomendadas por la FAO y el Banco Mundial para incrementar de manera sostenible la producción de leche y carne en los trópicos.

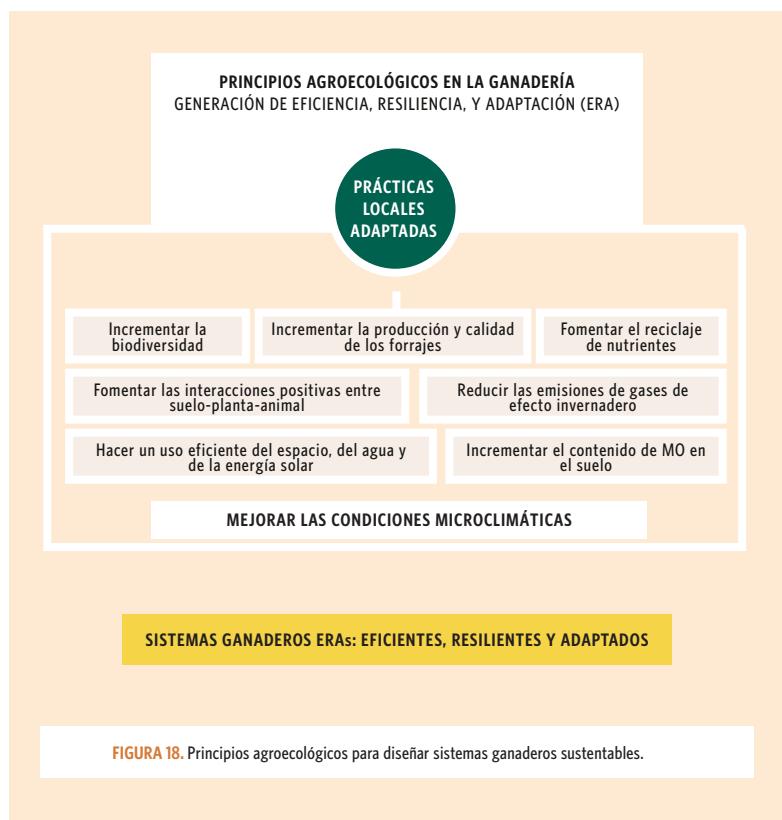
Los SSP, entre sus componentes importantes esta la integración de especies arbustivas y arbóreas lo que mejoran las condiciones microclimáticas y generan ambientes más confortables para el mejor desempeño de los animales en pastoreo. Varias de estas especies de plantas leñosas producen una gran cantidad de forraje de excelente calidad durante casi todo año. Por ello, el efecto de las sequías o la reducción del fotoperíodo que afecta a los sistemas ganaderos convencionales, en los SSP pasa casi desapercibido. En este sentido, la asociación de arbustivas y arbóreas con gramíneas les confiere, a la ganadería tropical, mayor resiliencia ante el impacto del cambio climático y la falta de agua, al mismo tiempo protegen a los animales de las altas temperaturas.



## PRINCIPIOS AGROECOLÓGICOS: EFICIENCIA, RESILIENCIA, Y ADAPTACIÓN (ERA)

Los sistemas ganaderos como los sistemas agrícolas se pueden rediseñar utilizando principios científicos agroecológicos. Estos principios se basan en incrementar la eficiencia, resiliencia y adaptación (ERAs) de los sistemas agropecuarios (Fig. 18 y 20). Lo anterior se logra por medio de:

Generar mejores condiciones de vida para la producción animal, incrementar las ganancias de peso y producción de leche, diversificar los recursos forrajeros, fomentar las interacciones biológicas (fijación atmosférica de N), mayor captura de carbono y menor emisión de metano.



## SISTEMAS AGROSILVOPASTORILES

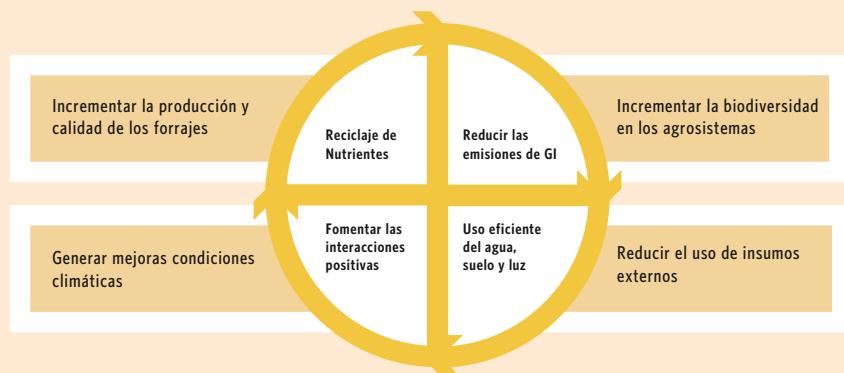
### COMPONENTES PRINCIPALES

Durante los últimos años la productividad de los sistemas ganaderos ha tenido una tendencia a declinar, como consecuencia de la implementación de sistemas extensivos convencionales y de la incorporación de suelos de menor fertilidad, en los que se plantaron especies no adaptadas, generando mayor proporción de pasturas degradadas y poco productivas. Lo anterior nos lleva a reflexionar que los sistemas



**FIGURA 19.** Árboles de copa grande tienen un efecto refrescante en la ganadería.

de producción se deben orientar a incrementar la producción animal a una tasa que le permita cubrir la demanda de alimentos, rehabilitar las pasturas degradadas, prevenir el deterioro de los recursos naturales y asegurar que los productores locales puedan competir con ventaja ante la apertura de mercados.



**FIGURA 20.** Principios agroecológicos para el diseño de sistemas ganaderos ERA

## IMPORTANCIA DE LA BIODIVERSIDAD EN EL REDISEÑO DE LA GANADERÍA

La biodiversidad es uno de los elementos clave para la sustentabilidad de los agroecosistemas ganaderos. La península de Yucatán es una de las regiones tropicales de México con mayor riqueza. También es una de las regiones con mayor número de especies de la familia de las leguminosas, que paradójicamente son de las especies menos utilizadas en los

sistemas de producción animal y en la restauración de suelos degradados y son de las especies con mayor potencial en la producción animal, en la reforestación y de las mejores adaptadas a las condiciones de suelo y clima.

**SSP: MAYOR DIVERSIDAD, MAYOR CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN**  
Conformado por diferentes estratos de vegetación

32

**4to estrato**  
Palmas y  
árboles de  
sombra

**3er estrato**  
Arbustivas  
leguminosas  
forrajeras

**2do estrato**  
Arbustivas  
leguminosas  
forrajeras

**1er estrato**  
Gramíneas  
forrajeras  
diversas



Sistemas Ganaderos Resilientes

**FIGURA 21.** Sistema silvopastoril con diversidad de especies arbóreas y arbustivas asociadas a gramíneas.

Una de las principales ventajas de la biodiversidad con relación a la producción animal, es la de tener a lo largo del año sin importar la época (secas o lluvias) disponibilidad de forraje. Tener diversidad de especies arbustivas y arbóreas asociadas con gramíneas asegura tener forraje durante todo el año (Fig. 21). Las arbustivas y arbóreas tiene un sistema radicular diferente a las pasturas tradicionales lo que les confiere mayor ventaja en ambientes secos (Fig. 22). Su sistema radicular más profundo puede obtener el agua del subsuelo a estratos diferentes.

Los sistemas ganaderos que incorporan árboles y arbustivas en sus agroecosistemas tienen mayor oportunidad de reducir los costos de producción (Fig. 23). El follaje de los árboles y arbustos por su naturaleza es más rico en proteína que cualquier pastura de gramíneas. Esta cantidad alta de proteína es un buen sustituto de alimento concentrado y de los mejores suplementos para la época de sequía.



Los árboles integrados en la ganadería ayudan a reducir las altas temperaturas en climas cálidos (Fig. 24). Además, permiten generar mejores condiciones micro climáticas para que los animales descansen y tengan menor necesidad de usar agua. Adicionalmente se genera mejor ventilación, aire más fresco y se reduce la evapotranspiración, favoreciendo mayor crecimiento de pasturas de mejor calidad y reduciendo la necesidad de riegos frecuentes.

Por otro lado, el balance entre las emisiones de GEI y la captura de carbono de los agroecosistemas ganaderos es fundamental para el equilibrio del clima. En este sentido, los árboles en la ganadería son un elemento sumamente importante ya que actúan como sumideros de carbono (Fig. 25), contribuyendo a regular las emisiones de GEI con la captura de C. Con mucha certeza se podría estimar que un paisaje ganadero con una densidad adecuada de árboles sería capaz de reducir entre un 30 al 50% las emisiones netas de CO<sub>2</sub>.



**FIGURA 23.** Principales ventajas de incluir árboles o arbustivas en sistemas ganaderos

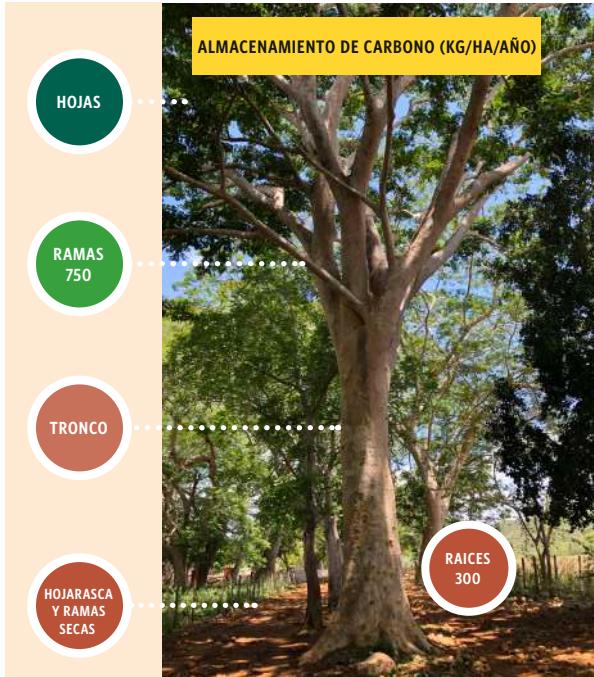
## LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES UNA HERRAMIENTA EFICAZ PARA REDUCIR EL ESTRÉS CALÓRICO



**FIGURA 24.** El sistema radicular de arbustivas y la MO del suelo son fuentes importantes de almacenamiento de carbono en los sistemas silvopastoriles.

35

Adicionalmente, los árboles en los sistemas ganaderos mejoran las propiedades fisicoquímicas de los suelos. Incorporan materia orgánica de excelente calidad que se incorpora de forma más sincronizada de acuerdo con las necesidades de nutrientes de las pasturas que crecen en las cercanías de ellos. Además, los árboles son una de las mejores estrategias para secuestrar el carbono y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Fig. 25).



**FIGURA 25.** Los árboles son una estrategia eficiente de secuestrar carbono y mitigar el impacto ambiental de la ganadería.

## LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES

### EFICIENCIA DEL USO DEL ESPACIO, LUZ SOLAR E INTERACCIONES

Adicionalmente, los árboles en los sistemas ganaderos mejoran las propiedades fisicoquímicas de los suelos. Incorporan materia orgánica de excelente calidad que se incorpora de forma más sincronizada de acuerdo con las necesidades de nutrientes de las pasturas que crecen en las cercanías de ellos. Además, los árboles son una de las mejores estrategias para secuestrar el carbono y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Fig. 26).

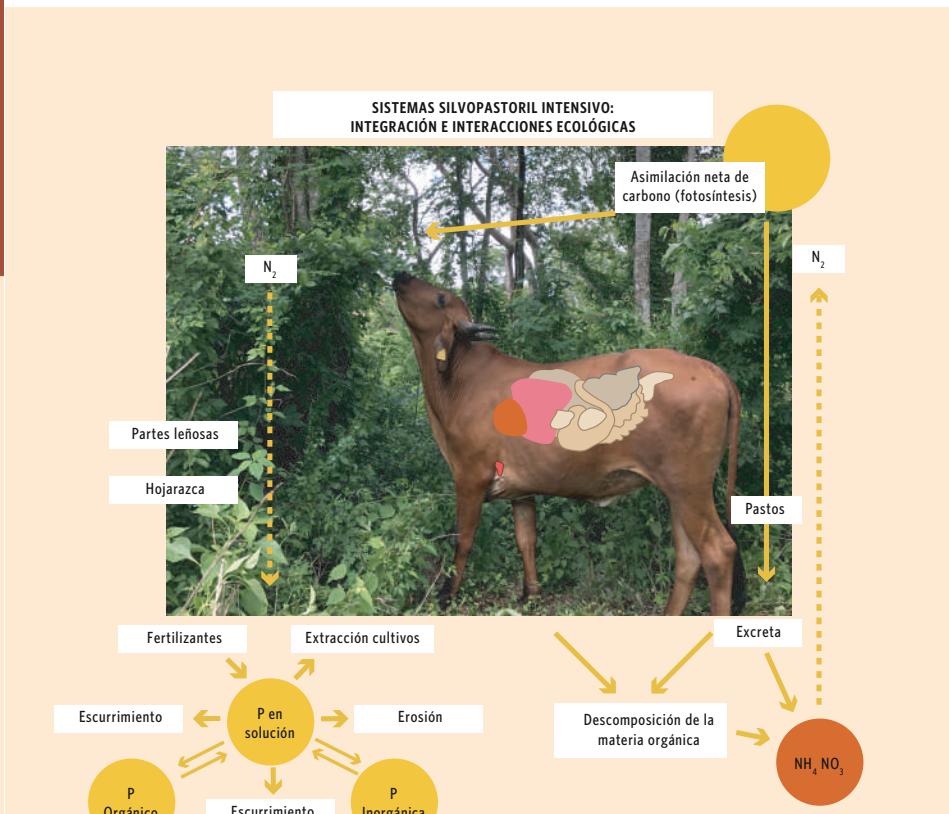
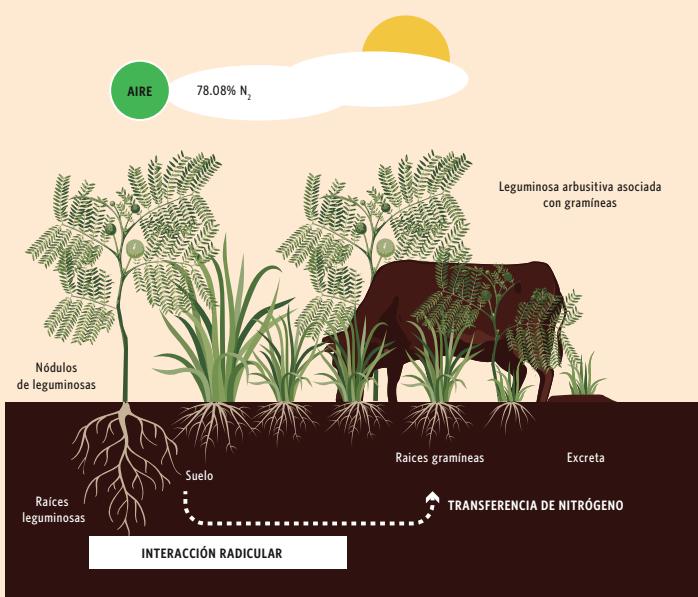


FIGURA 26. Interacciones principales en los sistemas silvopastoriles en la producción animal.

## IMPORTANCIA DE LAS LEGUMINOSAS EN EL REDISEÑO DE SISTEMAS GANADEROS

El nitrógeno (N) es uno de los elementos más abundantes en la atmósfera. Sin embargo, las plantas ni los animales lo pueden usar en su forma elemental y lo tiene que obtener del suelo, principalmente en forma de nitratos o amonio. En este sentido las Leguminosas juegan un papel fundamental en la ganadería tropical. Muchas leguminosas se encuentran ampliamente distribuidas en las regiones tropicales. La península de Yucatán es reconocida por su gran diversidad de especies provenientes de las leguminosas, varias de estas especies son noduladas por rizobios (Fig. 27 y 28). La fijación de nitrógeno en la simbiosis rizobio-leguminosa es de considerable importancia en agricultura, pero principalmente en la ganadería, ya que

incrementa significativamente el nitrógeno en el suelo. Dado que los suelos tropicales por naturaleza son bajos en contenido de N, y la situación aún es más grave en suelos bajo constante pastoreo, las leguminosas ofrecen una ventaja muy importante en tales condiciones, además de estar ampliamente adaptadas a condiciones de suelos adversas. Es una de las razones de que sean recomendadas como plantas pioneras en la reforestación de zonas áridas y semiáridas.



**FIGURA 27.** Esquema mostrando el proceso de la fijación de nitrógeno atmosférico en sistemas ganaderos con sistemas silvopastoriles.

La introducción de árboles y arbustos leguminosos en los sistemas de producción animal es una de las mejoras y más económicas formas de satisfacer la demanda creciente de alimentos en todo el mundo. Los árboles y arbustos forrajeros asociados a las gramíneas, es una de las estrategias principales para revertir el deterioro de las pasturas tropicales y de mitigar el impacto ambiental de la ganadería convencional.

Los árboles y arbustivas leguminosas proporcionan un forraje de alta calidad rico en proteínas, principalmente durante períodos secos en que no se encuentra forraje de las gramíneas. Los árboles y arbustos tienen raíces profundas y resistentes a la sequía y en diferentes regiones de México son la única opción para mejorar la alimentación del ganado.

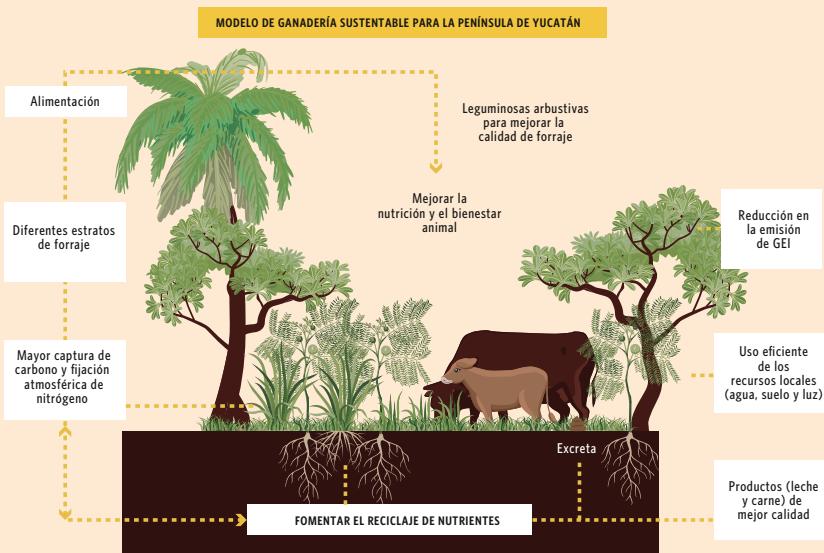
Los sistemas silvopastoriles constituyen una modalidad de los sistemas agroforestales y sus principales componentes son los árboles, los

pastos, los animales y el suelo en un sistema integrado. Estos sistemas ofrecen beneficios al proteger el suelo de la erosión adicionando materia orgánica para mejorar las propiedades de este, así como proporcionando sombra y alimento para los animales durante casi todo el año (Fig. 29).

Otro aspecto relevante en los sistemas silopastoriles se relaciona con la fijación de nitrógeno atmosférico, el cual ocurre en situaciones donde especies de Leguminosas como la *L. leucocephala* se



**FIGURA 28.** Nódulos en la raíz de *L. leucocephala* de dos meses de edad.



**FIGURA 29.** Modelo de ganadería sustentable basado en sistemas silvopastoriles.  
(Modificado de Sarabia et al., 2019).

El establecimiento de sistemas silvopastoriles con varios estratos favorece las relaciones positivas entre los componentes reflejándose en mayor producción de biomasa comestible, mejor calidad nutricional de la pastura y mayor resistencia a la época de sequía ya que los árboles ayudan a mejorar el ciclo del agua. Los sistemas multiestratos (Fig. 30) para ramoneo con gramíneas como *C. nlenfluensis*, y/o *M. maximus* (tanzania o mombasa) en el primer estrato, asociadas a *L. leucocephala* u otras especies nativas como: *Caesalpinia gaumeri*, (Kitam Ché), *Havardia albicans*, (Chukum) y *Senegalia gaumeri* (Catzin). En el segundo estrato se pueden combinar especies de *Lysiloma latisiliquum* (Tzalam), *Piscidia piscipula*

(Jabin), *Brosimum alicratum* (ramon). Un tercer estrato pudiera formarse por palmeras de coco, maderables como cedro o caoba. Lo importante es, imitar un ecosistema natural que contribuya a modificar las condiciones micro ambientales, favorecer la restauración de los paisajes ganaderos y mitigar el impacto ambiental sobre la ganadería. En este los árboles y arbustos, además de reducir el estrés calórico de los animales, fijan nitrógeno atmosférico y conservan la fauna silvestre.



FIGURA 30. Sistema silvopastoril con especies arbóreas nativas para la ganadería tropical.

Una importante ventaja de los árboles y arbustivas en Yucatán, es que su follaje, flores o frutos se encuentran disponibles cuando el forraje de las gramíneas se ven mayormente afectadas por la escasez de lluvia. En la época de lluvias, varias especies de árboles y arbustivas permanece con bastante biomasa verde que funciona como un banco de forraje para la época de sequía. Durante esta época, entre 50 y 90% de los árboles pierden sus hojas y muchos otros florecen, producen frutos y semillas que caen al suelo donde permanecen hasta la siguiente época

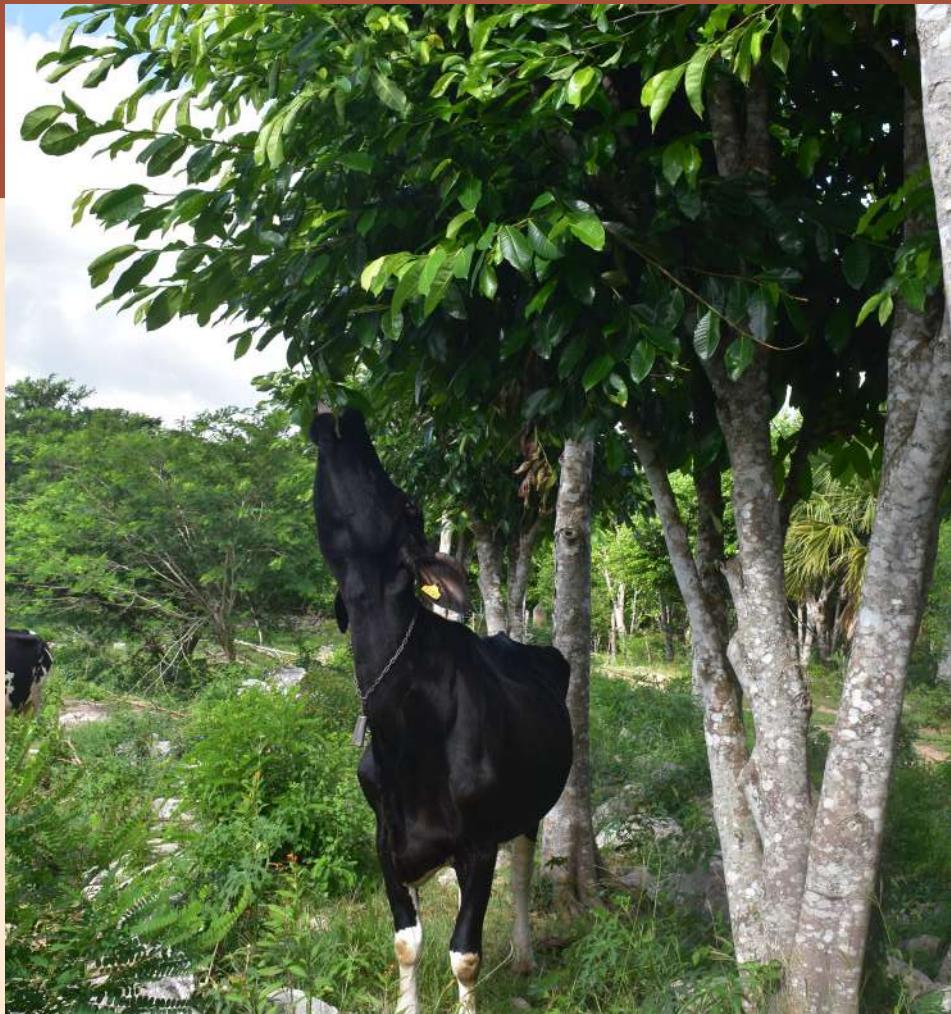
de lluvias (Torres-Acosta et al., 2016).

Entre los frutos con mayor importancia en Yucatán forrajera, se pueden mencionar los de *Guazuma ulmifolia* (pixoy), *Enterolobium cyclocarpum* (pich), y *Brosimum alicratum* (ramon).

## CAPITULO V: ESTABLECIMIENTO DE SISTEMA SILVOPASTORIL

40

40

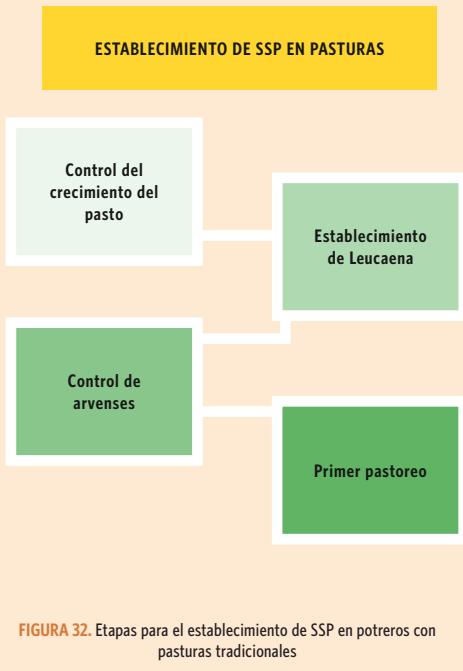


El sistema silvopastoril (SSP) involucra una amplia diversidad de plantas y de procesos biológicos. Los SSP implican la siembra en asociación de especies herbáceas, arbustivas y arbóreas, las cuales interactúan entre sí para propiciar una mejoría en la productividad del sistema y en los servicios ambientales. La selección de las especies a establecer debe priorizar a aquellas que están adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de cada región, deben interactuar de manera positiva con las otras especies en el sistema, se le da preferencia a las especies locales o nativas con un poder de adaptación amplio.



FIGURA 31. Etapas para el establecimiento de SSP con el uso de vegetación secundaria.

La Fig. 31 representa las etapas principales para el establecimiento exitoso de los SSP. Es importante considerar entre los componentes principales (árboles, arbustivas, gramíneas) enunciados en la Fig. 30. La selección de árboles se deben identificar principalmente especies conocidas en cada región, que preferentemente tengan al menos un uso ganadero (sombra, madera, fruta medicinal o forrajera). Este componente es llamado el “tercer estrato” en los SSP y tienen la función de generar servicios ambientales y modificar las condiciones microclimáticas para proporcionar bienestar a los animales. Como tercer estrato existen también una diversidad de especies arbóreas frutales (mango, tamarindo, ramón) o especies maderables como el jabin (*P. piscipula*), chechem (*Metopium brownei*), granadillo (*Platymiscium yucatanum*), guayán (*Guaiacum sanctum*).



**FIGURA 32.** Etapas para el establecimiento de SSP en potreros con pasturas tradicionales

La Fig. 32, muestra las etapas necesarias para la reconversión de pasturas en monocultivo en SSP. Una de las especies arbustivas que ha sido seleccionada para su introducción en los SSP es la leguminosa *L. leucocephala* (huaxin). La Leucaena o huaxim presenta un rango amplio de adaptación a diferentes condiciones edafoclimáticas. Además, es una de las arbustivas a nivel mundial con el mayor potencial forrajero, de excelente calidad y poder de recuperación a ramoneos o podas frecuentes. La leucaena, presenta características idóneas para ser asociada con árboles y gramíneas, aprovechándose del microclima generado por los árboles y trasladando N hacia las pasturas que crecen junto a sus raíces (Fig. 29).

Para el establecimiento de SSP, en pasturas ya existentes, una de las actividades esenciales es controlar el crecimiento del pasto. Lo más recomendable, es, dividir los potreros con cerco eléctrico y meter a pastorear una cantidad elevada de animales para que hagan un pastoreo fuerte y rápido. Posteriormente y previo tratamiento (escarificación) de la semilla de Leucaena se procede con los pasos indicados en la Figura 32 y explicados con mayor detalle en las siguientes secciones.

## ANÁLISIS AGROECOLÓGICO DEL SISTEMA

Antes de realizar cualquier actividad para el establecimiento de los SSP es necesario efectuar un estudio previo al área donde se llevarán a cabo las diversas actividades. Lo anterior nos ayudará a realizar con mayor éxito el desarrollo y sustentabilidad de los SSP. A continuación, se describen brevemente los aspectos más importantes a considerar:

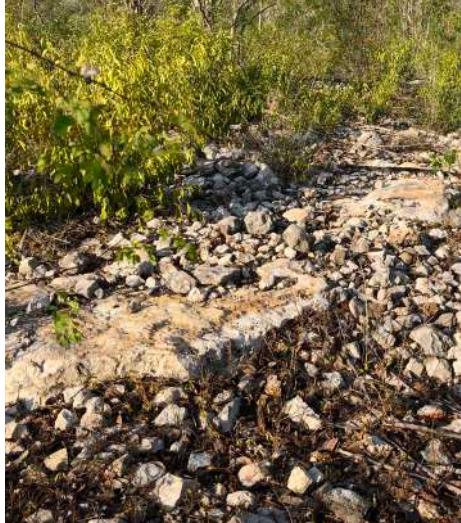
## SUELOS

Una primera actividad necesaria en el análisis agroecológico del predio es la evaluación de las características particulares del suelo. Es necesario primero identificar el tipo de suelo y sus características, aunque sea de forma general (grado de pedregosidad, profundidad, uso de suelo actual o anterior). Por lo general, en una misma unidad se encuentra un mosaico de tipos de suelos. Uno de los objetivos principales del establecimiento de los SSP, es, recuperar suelos degradados, deforestados o mejorar el manejo de los suelos y pasturas que se encuentran bajo manejo ganadero convencional. En este sentido,

tener una visión general del tipo de suelo en el cual se va a trabajar es importante para conocer con qué actividades se podrá iniciar las prácticas de establecimiento.

A continuación, se presentan tres escenarios más representativos donde se podrían establecer con éxito los sistemas silvopastoriles:

- A** Sistema ganadero convencional. La base de la alimentación son las gramíneas en monocultivo (Fig. 34).
- B** Sistema nuevo. No existe ningún tipo de explotación ganadera, son áreas por lo general abandonadas sin cubierta vegetal (Fig. 35).
- C** Sistema de vegetación secundaria. Carece de manejo generalmente rica en biodiversidad con gran potencial forrajero (Fig. 36).



**FIGURA 33.** Características de suelos con poco contenido de MO, característicos de la parte central del estado de Yucatán.



**FIGURA 34.** Sistema ganadero convencional basado en pasturas en monocultivo.

**FIGURA 35.** Área nueva para ser convertida en sistema ganadero.

**FIGURA 36.** Área ideal para ser enriquecida y manejada en sistema silvopastoril.

## RECUPERACIÓN DE ÁREAS DEFORESTADAS

### PREPARACIÓN DEL TERRENO

Existe un enorme potencial para la reconversión con SSP de áreas deforestadas. Estas áreas improductivas y fuertemente fragmentadas son muy comunes en diferentes regiones del trópico mexicano. Para el éxito del establecimiento, es indispensable una buena preparación del terreno. El tipo de preparación o de acciones requeridas va a depender de las condiciones previas, es decir si se trata de pasturas previamente establecidas y abandonadas, o de suelos desnudos, área arbolada o vegetación secundaria (áreas abandonadas).

A continuación, se describen las dos opciones (manual y mecánica) y las principales actividades relacionadas con la preparación del terreno.

44



**FIGURA 37.** Control manual de arvenses para el establecimiento de sistemas silvopastoriles

#### MANUAL

La productividad a largo plazo de un SSP depende en gran medida de la etapa inicial del establecimiento y esta a su vez depende de un buen control de arvenses. El control manual de arvenses es el más usado, aun cuando es efectivo en ocasiones es más costoso. En condiciones de suelo como los del estado de Yucatán, es recomendable realizarlo de forma manual con coa o machete (Fig. 37). Las arvenses se deben cortar lo más bajo posible para que permitan a las nuevas plantas de Leucaena sobresalir y tener la posibilidad de competir por luz y agua cuando sea necesario.

Cuando el establecimiento del SSP se planea realizar en la época de lluvias, el control de arvenses se recomienda hacer entre tres a cuatro semanas antes del inicio de las lluvias. El objetivo es crear las condiciones adecuadas para la germinación y desarrollo de las nuevas plántulas (sin que exista competencia por luz, nutrientes o espacio).

Durante estas actividades se deberá poner especial cuidado en evitar eliminar plantas de importancia ganadera (arbustivas y árboles principalmente). En el anexo uno se menciona y describen algunas de las especies de mayor importancia en la ganadería. Estas especies por lo

general tienen un sistema radicular profundo, son resistentes a las sequías y cuentan con gran capacidad de adaptación a las condiciones locales de los suelos de la península de Yucatán.

## PREPARACIÓN MECÁNICA

- 1 Preparación del terreno con tractor (Fig. 38): Para aprovechar al máximo el periodo de lluvias, el terreno al final de la época de seca con tractor y arado con subsolador. Se deben realizar dos pases, uno a favor de la pendiente y el otro orientado este-oeste. La profundidad mínima de esta labor debe ser de 30 a 40 cm. Posteriormente, se realiza de uno a dos pases de rastra para dejar el suelo en óptimas condiciones.
- 2 Trazado del potrero: Los surcos se orientarán siempre de oriente a occidente para disminuir la sombra sobre los pastos y facilitar su rebrote. Sólo se debe trazar en diagonal, cuando la pendiente del terreno exige prácticas de conservación o para el riego cuando es por gravedad.
- 3 Formación de surcos elevados o "caballones": Se surca y establecen los caballones (surcos elevados entre 20 y 30 cm a 1.5 o 1.6 m de distancia en lugares con mucha precipitación o fácilmente inundables).



FIGURA 38. Preparación mecánica para el establecimiento de sistemas

## PREPARACIÓN DE LA SEMILLA DE LEUCAENA

La selección, evaluación y la correcta preparación de la semilla es muy importante para el éxito del establecimiento. En lo que se refiere a la selección de la semilla (dando preferencia a especies de árboles y arbustos locales), es necesario definir el tipo más apropiado para la unidad de producción; aquí se requiere que el tipo de planta seleccionada este adaptada a las condiciones agroecológicas y de manejo del sitio. Esta acción debe realizarse con suficiente tiempo e identificar áreas donde se podrá colectar, seleccionar y almacenar la semilla para su posterior siembra. La evaluación de la calidad de la semilla es un paso crucial para el desempeño de la semilla y la plántula en campo.

### ESCARIFICACIÓN

Una vez seleccionada la semilla se procede con la escarificación. Esta práctica se realiza sumergiendo las semillas durante tres minutos en agua a 80°C (Fig. 39); una vez concluido el tiempo de escarificación, es necesario extender la semilla en una superficie amplia para permitir que se enfrie (una práctica que ha venido siendo utilizada con éxito para acelerar la germinación es, que al retirar la semilla del agua caliente, se le puede aplicar agua fría, este cambio brusco de temperatura podría ayudar acelerar la emergencia de las de los embriones y germinación de la semilla). La semilla ya escarificada deberá sembrarse en un plazo no mayor a cinco días, siempre y cuando se halla almacenado en condiciones adecuadas (ambiente seco y frío (no congelación), y sin exposición directa a la luz).



FIGURA 39. Escarificación con agua caliente de la semilla de Leucaena

## SIEMBRA

La siembra de Leucaena se puede realizar bajo cualquiera de los tres escenarios antes mencionados (áreas nuevas sin vegetación, pasturas existentes o en áreas con vegetación secundaria). A continuación, se describe el proceso para cada uno de ellos.



**FIGURA 40.** Siembra de Leucaena en condiciones de suelos pedregosos como los del estado de Yucatán.

## ÁREAS NUEVAS

En áreas nuevas donde no existe ningún tipo de vegetación ni previamente se ha utilizado para la producción de forraje, el área se prepara como se describió en la sesión anterior, igual como si fuéramos a establecer cualquier otro cultivo de importancia comercial (maíz, sorgo o soya).

Una vez que se tiene el área limpia y lista se procede a sembrar la leucaena previamente escarificada. Para lo anterior, se lleva la semilla en una bolsa u contenedor para que se facilite su manejo y siembra (Fig. 40). Cuando se realiza de forma manual se colocan entre tres a cinco

semillas por poceta a una profundidad de 5 cm aproximadamente, similar a cuando se establece el maíz, y con una separación entre cada poceta de 30 a 50 cm. La separación entre hileras o callejones es de 1.5 a 1.6 mts aprox. (Fig. 41), independientemente si se establece a mano o con tractor.

Cuando la siembra se realiza con tractor, se debe realizar la siembra a chorillo formando callejones de 1.6 mts de distancia entre ellos (Fig. 42). Esta densidad de siembra permite una distribución espacial de las plantas adecuada para una mejor cobertura del suelo y facilitar la transferencia de nitrógeno entre la Leucaena hacia la gramínea ya que, con esta distribución y arreglo las raíces entre ambas especies estarán más en contacto. Además, se logra mayor eficiencia en la intercepción de la luz, de nutrientes y del espacio del suelo.

Esta densidad de siembra permite, además, reducir problemas con arvenses y mantener una dieta mejor balanceada (proteína/energía) para beneficio de los animales en pastoreo.



**FIGURA 41.** Establecimiento manual (a chorillo) de Leucaena, con surcos formando hileras de 1.6 m de distancia



**FIGURA 42.** Preparación y siembra de leucaena con tractor formando hileras de 1.6 mts de distancia.



**FIGURA 43.** Leucaena establecida a 1.6 m de distancia entre surcos y sembrada a chorillo.

## SIEMBRA DEL PASTO

La siembra del pasto se debe realizar posteriormente, entre los 35 y 50 días posteriores a la emergencia de las plántulas de Leucaena. La semilla de pasto se debe sembrar preferentemente en doble hilera entre los callejones formados por las plantas de Leucaena (Fig. 44).

El establecimiento de ambas especies (Leucaena y gramíneas) se deberá realizar de preferencia al inicio de las lluvias, previa preparación del terreno. Cuando se cuente con sistema de riego, el establecimiento se realizaba en suelo previamente húmedo, en cualquier época del año.

## CONTROL DE MALEZAS

La siembra del pasto se debe realizar posteriormente, entre los 35 y 50 días posteriores a la emergencia de las plántulas de Leucaena. La semilla de pasto se debe sembrar preferentemente en doble hilera entre los callejones formados por las plantas de Leucaena (Fig. 45).

El establecimiento de ambas especies (Leucaena y gramíneas) se deberá realizar de preferencia al inicio de las lluvias, previa preparación del terreno. Cuando se cuente con sistema de riego, el establecimiento se realizaba en suelo previamente húmedo, en cualquier época del año.

El control de arveses se debe realizar de acuerdo con las capacidades y condiciones de cada rancho. Donde sea posible utilizar maquinaria será más rápida y eficiente la limpia. Donde las condiciones económicas o de suelo se permitan se debe realizar de forma manual sería lo más recomendable (Fig. 46).



**FIGURA 44.** Leucaena establecida en hileras asociada con pasto Estrella.



**FIGURA 45.** Leucaena libre de arveses para facilitar su establecimiento



**FIGURA 46.** Control de arveses a mano, en lugares donde el uso de maquinaria es difícil por las condiciones de suelo.

## ESTABLECIMIENTO EN ÁREAS DE PASTURAS EXISTENTES

Para el establecimiento de Leucaena en pasturas existentes, se deberá controlar el crecimiento del pasto, de tal forma que permita primero el desarrollo de las plantas de Leucaena (Fig. 47). Lo anterior se puede lograr con prácticas combinadas. Primero, se debe utilizar una carga alta de animales para aprovechar al máximo el recurso forrajero y segundo que los animales bajen al máximo la pastura.



FIGURA 47. Establecimiento de Leucaena en pasturas existentes para el establecimiento de SSP.

## ESTABLECIMIENTO DE SSP EN VEGETACIÓN SECUNDARIA

Cuando existe vegetación secundaria es muy importante realizar previamente una selección de las plantas de mayor importancia, algunas de las características de las plantas son:

- ✓ Que mantenga su follaje durante un tiempo más prolongado que los pastos tradicionales.
- ✓ Que produzcan vainas y follaje preferentemente comestibles.
- ✓ Que las hojas, frutos o flores de las especies caducifolias sean consumidas por el ganado.



FIGURA 48. Sistema silvopastoril con vegetación nativa para mejorar las condiciones microclimáticas.

La preparación del terreno para esta opción consiste primeramente de la limpieza selectiva de arbustivas (Fig. 48). A los árboles o arbustivas que formarán parte del sistema, en caso de estar muy ramificadas se les realiza una poda selectiva dejando las ramas de mayor diámetro y que encuentren más erguidas. Es importante seleccionar árboles sanos y de corte preferentemente recto, dejando aproximadamente entre 400 a 500 árboles por ha.

En caso de establecer el SSP en lugares donde ya existen árboles y/o palmas, éstos se deben de cuidar para tratar de que la mayoría permanezca en el nuevo sistema. En caso necesario, se tendrán que hacer raleos, entresaques y podas de ramas bajas para facilitar las labores mecánicas, si se va a implementar en un lugar con árboles (Fig. 49).

Se debe procurar en lo posible establecer un tercer estrato en densidades de 400 a 500 árboles/ha y puede estar constituido por árboles nativos para sombrío, madera de uso doméstico, producción de frutos para la gente, el ganado, como el mango, y otras especies de la región. Los árboles cumplen con una función muy importante de protección del suelo, ya que disminuyen el efecto directo del sol, la lluvia y el viento, con sus raíces reducen la escorrentía superficial del agua de lluvia permitiendo una mejor absorción del agua y los nutrientes (Fig. 49 y 50). Además, la hojarasca que producen es fuente de materia orgánica. Muchas de las especies arbóreas y arbustivas de Yucatán pertenecen a la familia de las Leguminosas que las caracteriza por poseer un contenido alto en nitrógeno y que al estar en contacto con el suelo inicia el proceso de integración enriqueciendo el suelo de forma natural.



**FIGURA 49.** Manejo de la vegetación arbórea para el establecimiento de sistemas silvopastoriles



**FIGURA 50.** Sistema silvopastoril con vegetación secundaria, principalmente especies leguminosas.



**FIGURA 51.** Grupo de animales entrando a un sistema silvopastoril conformado por vegetación secundaria

## CERCAS VIVAS

En los últimos años el sistema de cercas vivas ha tomado mayor relevancia económica y ecológica, no sólo porque su establecimiento significa un ahorro del 54% con respecto al costo de las cercas convencionales, sino, por que constituye una forma de reducir la presión sobre el bosque para la obtención de postes y leña, además de que representa una forma de introducir árboles en los potreros. Bajo este esquema, se siembran árboles o arbustivas con el propósito de delimitar potreros, proporcionar sombra a los animales, entre otros aspectos. Las especies que comúnmente se utilizan son aquellas que se pueden propagar por medio de esquejes o estacas, ejemplos de ellas se pueden citar a *Bursera simaruba* (chaka), *Gliricidia sepium* (matarratón) y *G. ulmifolia* (guácima).

Las cercas vivas son un componente importante en el diseño de los sistemas ganaderos (Fig. 52), ya que entre sus principales funciones esta ayudar al productor al manejo rotacional de los animales, incluyendo la gran capacidad de captura de carbono. Las cercas vivas por lo general se establecen con material vegetativo (ramas verdes) provenientes de árboles adultos. Lo recomendable es utilizar estacas de entre 1.5 a 2.0 m de altura y colocadas formando las cercas a una distancia de entre 2 a 3 m entre cada estaca (Fig. 53) y sumergiendo en el suelo aproximadamente 20 cm de la estaca justo antes del inicio de las lluvias.

La integración de árboles forrajeros en cercas vivas es una de las estrategias sugeridas con el propósito de proporcionar forraje y sombra a los animales en pastoreo (Fig. 53). Diversos estudios han demostrado la importancia de este recurso para mantener los animales en buenas condiciones aun cuando la producción de pasto se ve reducida por la falta de agua en la época seca.

En el trópico de la Península de Yucatán, una de las especies que mayor potencia presentan como cerca viva es la Leucaena (Fig. 54). La leucaena soporta alta temperaturas, períodos prolongados de sequía, así como defoliaciones

frecuentes. Es una planta que se desarrolla bien en diferentes tipos de suelo, profundos o poco profundos, su sistema radicular le confiere muchas características deseables en los sistemas ganaderos. Además, de contribuir de forma natural con la fertilidad del suelo, produce uno de los mejores follajes de alta calidad para la alimentación animal.



**FIGURA 52.** Potreros enriquecidos con cercas vivas de *Gliricidia sepium*.



**FIGURA 53.** Cerca viva con *G. sepium*, proporcionar sombra en la época de sequía.

Además de estas condiciones, es recomendable seleccionar especies nativas para aprovechar las ventajas de la adaptación a su ambiente y, además, que pueden ser establecidas mediante el uso de técnicas agronómicas sencillas y de bajo costo.

La experiencia adquirida, ha posibilitado conceptualizar una metodología para racionalizar y organizar la investigación sobre árboles y arbustos forrajeros. Tal metodología permite, mediante un proceso de eliminación sucesiva, trabajar solamente con las especies que muestren las mejores características forrajeras.

Para la identificación y caracterización de especies con potencial forrajero en una determinada región se pueden seguir diferentes vías. En primer lugar, se considera el uso de encuestas dirigidas a productores en las que se indaga sobre las especies de leñosas que normalmente son apetecidas por los animales. La segunda vía, es la observación directa de los animales durante el pastoreo o ramoneo para determinar, mediante estudios de frecuencia, las especies más utilizadas. Por último, la literatura también se utiliza para obtener información secundaria sobre especies que ya han sido reportadas como forrajeras en otros estudios.

La observación de los animales ha permitido identificar especies que son particularmente apetecidas y con altos niveles de digestibilidad y de proteína cruda. Estos estudios han permitido, de una forma preliminar, valorizar especies que actualmente no tienen ningún valor de uso y ampliar la utilidad de aquellas que normalmente tienen otros propósitos. Además de la identificación botánica se ha recabado información sobre otros usos que se les da a estas especies en las fincas y sobre las formas tradicionales de manejo agronómico, de esta forma se integra el conocimiento empírico de los productores para acelerar el proceso de investigación.

En Yucatán, existe una amplia diversidad de especies arbóreas y arbustivas que antes se consideraban como malezas, pero que en la actualidad se han identificado que tiene gran potencial en la producción animal.

Muchas de las especies, además de producir forraje y sombra (Fig. 56), se utilizan para la obtención de leña, para el consumo humano y como plantas medicinales. La información brindada por los productores también ha permitido conocer técnicas de manejo agronómico sencillas y fáciles de implementar.

Con el propósito de obtener información preliminar sobre la capacidad de producción de biomasa de las especies identificadas, es aconsejable podar árboles que crecen naturalmente o que están presentes en los ranchos. Con esto se



**FIGURA 54.** Cerca viva de *Leucaena* para facilitar el pastoreo rotacional y generación de servicios ambientales.



**FIGURA 55.** Cerca viva de *Gliricidia sepium* para la generación de sombra y delimitación de potreros.

puede determinar si las plantas sobreviven a la poda y también obtener una primera aproximación sobre su capacidad de producir forraje, en períodos suficientemente largos de tiempo, que permita preseleccionar a las mejores.

Un aspecto importante, es con relación a la sobrevivencia y periodo de vida de varias especies que se utilizan de cercas vivas. Por ejemplo, con chaka, matarratón y neem (*Azadirachta indica*), los trabajos que han realizado reportan sobrevivencia por encima del 80% de las estacas colocadas en potreros justo antes del inicio del periodo de lluvias. Igualmente, es formar cercas vivas con la mayor diversidad de especies posible, además esto garantiza que se formen diferentes estratos y tener forraje de forma escalonada.



**FIGURA 56.** Sistema silvopastoril con cercas vivas de ramón (*B. alicatrum*) para proveer de forraje y sombra en la época de sequías.

## PRIMER SILVOPASTOREO

Aproximadamente entre cuatro a seis meses después de la siembra de Leucaena, se inicia con el primer pastoreo o ramoneo utilizando principalmente animales jóvenes o pequeños. Uno de los objetivos es que los animales empiecen a consumir leucaena y se fomente el rebrote de mayor numero de ramas laterales para que a la vez se promueva la producción de forraje, (Figura 57). Los pastoreos siguientes se realizan cada 35 a 45 días (aunque, se debe estar monitoreando la recuperación, porque el tiempo puede variar), con periodos de ocupación entre un día a máximo dos días.

Es importante mencionar que no existe una regla generalizada para aplicar universalmente en todos los ranchos que trabajan con sistemas silvopastoriles. En este sentido, es necesario que cada rancho debiera realizar un análisis detallado de las condiciones edafológicas y de la disponibilidad de forraje, así como de la estructura botánica que compone a los diferentes potreros. En condiciones heterogéneas de suelo y vegetación como las de Yucatán, cada potrero y consecuente cada rancho es diferente. Lo que podría funcionar para uno podría ser inadecuado para otro.



**FIGURA 57.** Primer pastoreo de un sistema silvopastoril con animales jóvenes.

### PASTOREO ROTACIONAL

El sistema de pastoreo recomendable para los sistemas silvopastoriles está basado en el pastoreo rotacional (Fig. 58). Es un sistema de aprovechamiento de pasturas asociadas con árboles y arbustivas que pretende optimizar la utilización de su biomasa y asegurar su perpetuación por medio de una división en parcelas por las que se hace rotar al ganado.

Este sistema tiene el propósito de mantener un equilibrio ecológico que permita al recurso forrajero recuperarse y mantenerse siempre en buena calidad. El pastoreo consiste en hacer un consumo rápido del forraje ofrecido, lo cual se logra con períodos cortos de ocupación (uno a dos días), áreas pequeñas y alta presión de pastoreo. Asimismo, se otorga un período de tiempo adecuado para recuperación de la planta (35-40 días), de tal forma que alcance a producir nuevamente forraje suficiente que garantice la producción de reservas de las raíces del pasto, a fin de lograr un rebrote vigoroso y la mayor disponibilidad de forraje de forma constante. El sistema de pastoreo rotacional favorece el reciclaje de nutrientes por la gran acumulación de excretas, al manejar altas densidades de ganado en áreas relativamente pequeñas. Además, al tener bloques de pastoreo pequeños se evita el gasto innecesario de energía corporal del ganado, aumentando las ganancias de peso y/o producción de leche.

Otras ventajas adicionales del sistema, es que se hace un aprovechamiento eficiente de toda la biomasa forrajera, sin permitir que los animales seleccionen los rebrotos tiernos o material joven logrando con ello un aprovechamiento total del forraje.



**FIGURA 58.** Animales en pastoreo rotacional en sistema silvopastoriles.

## CARGA ANIMAL

La carga animal es el elemento principal que tiene mayor influencia en la producción animal (leche y carne) y la condición de los potreros, por lo que es importante estar siempre en contacto con las condiciones actuales de los forrajes y poder tomar las mejores decisiones con relación al tiempo, frecuencia y momento óptimo de pastoreo. Así mismo, las condiciones climáticas (temperaturas, distribución y cantidad de precipitación) son factores críticos para el éxito o fracaso de las estrategias de pastoreo.

La capacidad de carga se define como el número de animales por hectárea que puede sostener un potrero. Se calcula dividiendo la cantidad de forraje total aprovechable, entre el período de descanso y el consumo de forraje diario del animal. Es necesario disponer de la siguiente información:

- A** Cantidad de forraje por hectárea aprovechable por corte o pastoreo, siendo necesario considerar las pérdidas que se puedan presentar, que se estima en un 30%, o sea, que sólo hay un 70% aprovechable.
- B** Cantidad de alimento que puede consumir cada animal. Se considera que un animal adulto consume forraje verde en promedio un 10 a 12 % de su peso vivo; por ejemplo, si un animal pesa 500 kg, consume 50 kg de forraje verde por día.
- C** El período de descanso y el período de pastoreo.

Con esta información, se puede calcular el número de animales por hectárea, con la aplicación de la siguiente fórmula:

Donde:

$$NA \text{ ha}^{-1} = (PFV \times 0.70) / (50 \times PD)$$

<b>NA</b>	<b>ha<sup>-1</sup>=</b>	Número de animales por hectárea
<b>PFV=</b>		Producción de forraje verde por hectárea
<b>0.70=</b>		Porcentaje utilizable del forraje
<b>50=</b>		Promedio de consumo de forraje por animal cada día, en kg
<b>PD=</b>		Período de descanso del potrero.

Ejemplo:

Si se asume una producción de forraje verde de 12.0 t/ha<sup>1</sup> y el período de descanso es de 42 días, la capacidad de carga o número de animales por hectárea será:

$$NA \text{ ha}^{-1} = (12,000 \times 0.70) / 50 \times 42 = 4 \text{ animales ha}^{-1}$$

Para estimar la capacidad de carga de áreas establecidas con árboles y pasturas primeramente se deberá estimar el área de *L. leucocephala* que se requiere para utilizar de manera más eficiente las áreas de forraje. Ejemplificando lo anterior, supongamos que se tienen 50 vacas lecheras, las cuales consumen 8 kg de forraje verde de *L. leucocephala* vaca<sup>1</sup> (2.4 kg en seco) por día en un periodo de dos meses.

$$\text{Se requiere } 2.4 \times 50 \times 60 \text{ (días)} = 7,200 \text{ kg de } L. \text{ leucocephala (en base seca)}$$

Asumiendo que *L. leucocephala* acumula 3,000 kg MS ha<sup>-1</sup> de forraje en dos meses con un 80% de utilización, tal como se describió antes, la necesidad se puede cubrir teniendo 2.4 ha de *L. leucocephala*, bajo pastoreo rotacional con períodos de descanso de 60 días. En total se requerirían 14.4 has establecidas con *L. leucocephala* para mantener al año 50 vacas adultas (450 kg) en pastoreo rotacional con dos meses de descanso.

## PRODUCTIVIDAD ANIMAL Y FORRAJERA

El manejo de pasturas y el pastoreo se refiere a conseguir una relación óptima entre el forraje disponible y los animales que lo consumen. La utilización de las pasturas en los sistemas de producción animal tiene como objetivos principales: incrementar al máximo la utilidad económica, mantener un sistema productivo estable y reducir al mínimo los momentos de estrés de los animales, especialmente los de tipo nutricional.

La inclusión de leguminosas (arbustivas y arbóreas), que a través de la fijación biológica de nitrógeno atmosférico incorporan N<sub>2</sub> al sistema, incrementa considerablemente la calidad y productividad de los forrajes. En este sentido, y con la finalidad e siempre lograr un equilibrio adecuado de Leguminosas-gramíneas es importante el adecuado manejo del sistema forrajero.

Entre los factores que afectan la utilización de las pasturas se encuentran principalmente las prácticas de manejo realizadas por el hombre ya que pueden, agudizar o atenuar los efectos adversos del resto de los factores sobre el rendimiento de los pastos en una pradera.

### ESTIMACIÓN PARA LA DISTRIBUCIÓN DE LOS POTREROS

$$NP = TR + NG$$

Donde:

NP= Número de potreros

TR= Tiempo de reposo

TE= Tiempo de estancia

NG= Número de grupos por pastorear

Si se quisiera determinar la superficie de cada uno se emplea la fórmula:

$$SP = ST/NP$$

Donde:

SP= Superficie del potrero

ST= Superficie total

NP= Número de potreros

La determinación de la capacidad de carga, que se refiere al número de Unidades Animal (UA= vaca de 450 kg) que puede mantener una hectárea de pradera a lo largo de un año, se logra tomando en cuenta la cantidad de forraje disponible.

## ANEXO I: CONCEPTOS IMPORTANTES

Existen diferentes sistemas de pastoreo tales como el rotacional, en franjas, continuo y diferido, presentando cada uno de ellos ventajas y desventajas. Para un mejor entendimiento de cada uno de ellos, es necesario primeramente definir algunos conceptos importantes en el manejo de pasturas.

<b>Pastoreo:</b>	Es la remoción parcial o total del forraje disponible, realizada directamente por el animal en una o varias ocasiones.
<b>Forraje disponible:</b>	Es la cantidad total de forraje que se encuentra en una determinada superficie disponible para el consumo de los animales. Existen dos métodos para calcular el forraje disponible en una pradera: 1) por medio del pastoreo simulado y 2) por determinación de la materia seca por unidad de área ( $MS\ ha^{-1}$ ), para lo cual se muestran pequeñas áreas ( $0.5$ a $1.0\ m^2$ ).
<b>Carga animal:</b>	Indica el número de unidades animal (UA) o el número de cabezas de ganado en una unidad de superficie (ha), por unidad de tiempo (año).
<b>Presión de pastoreo:</b>	Es la relación entre la cantidad, en MS, que de forraje se demanda y la cantidad disponible en la pradera.
<b>Unidad animal:</b>	Es el equivalente a una vaca adulta de 450 kg con su ternero o una vaca de 500 kg.
<b>Coeficiente de agostadero:</b>	Indica la superficie que produce el forraje suficiente para mantener una unidad animal por unidad de tiempo.
<b>Tiempo de estancia:</b>	Se refiere al tiempo que un grupo de animales que permanece en un potrero.
<b>Tiempo de ocupación:</b>	Es el tiempo que un potrero es pastoreado por los animales. Cuando se trata de un grupo, el tiempo de ocupación es igual al tiempo de estancia. Sin embargo, cuando se trata de dos grupos, la suma de los tiempos de estancia es igual al tiempo de ocupación.

## ANEXO II: ARBOLES CON POTENCIAL FORRAJERO



**FIGURA 59.** Sistema silvopastoril con árboles de *B. alicastrum* (ramón) asociado con *Leucaena* y gramíneas.



**FIGURA 60.** Arboles nativos de chukum para la alimentación animal en la época de secas.

Los árboles y arbustos juegan un papel principal en la producción animal, por ejemplo, en algunas regiones se estima que los árboles contribuyen aproximadamente al 70% de la dieta de los animales (Fig. 59). En este sentido, los árboles son parte fundamental en la producción animal, utilizando los árboles como única fuente de proteína en el alimento de los animales. Entre las especies arbóreas de importancia para la producción animal destacan *G. sepium*, *B. alicastrum*, *P. piscipula*, *G. ulmifolia*, *L. latifolium*, *L. leucocephala*, *Enterolobium cyclocarpum*, entre otras.

### HABARDIA ALBICANS

*Habardia albicans* es conocido con los nombres comunes de: chukum (maya) es un árbol caducifolio de 2 a 4 m de altura, aunque se han reportado plantas con alturas de hasta 8 m, presenta ramas largas muy extendidas, horizontales, con hojas compuestas alternas (Fig. 60).

Las hojas y vainas (verdes o secas) son muy apreciadas por el ganado, poseen aproximadamente 15.5-17% de PC, los frutos contienen 18% de PC. En la época de lluvias tiene abundante follaje y en las secas es muy importante por la gran cantidad de vainas que produce.



**FIGURA 61.** Árbol de jabín (*P. piscipula*) como un componente importante de los sistemas silvopastoriles.

#### PISCIDIA PISCIPULA

*P. piscipula*, pertenece a la familia Fabaceae, es conocido con los nombres comunes de: jabín, es un árbol caducifolio de hasta 20 m de altura y tronco de 60 a 90 cm de diámetro con corteza irregular y ramas erectas e igualmente irregulares, las hojas son compuestas divididas en hojuelas verde oscuro de forma ovada, las flores son numerosas y de color blanco con rosado, (Fig. 61), sus hojas tienen 14.8% de PC y su tallo 8.4%.



**FIGURA 62.** Árbol de *Enterolobium cyclocarpum* ideal componente en los SSP.

#### ENTEROLOBIUM CYCLOCARPUM

Es una de las plantas autóctonas, ampliamente distribuidas en la Península de Yucatán y parte del norte del estado de Chiapas, utilizada desde hace ya muchos años para madera por su excelente calidad. Es una planta característica de las zonas tropicales de México, puede alcanzar hasta 20 m. de altura (Fig. 62).

## ANEXO III: PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FORRAJE DE ÁRBOLES

### PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ESPECIES LEÑOSAS

Una alternativa para lograr incrementos en la productividad de los sistemas agrícolas es incrementando la productividad de la materia viva (biomasa) total. Este es un aspecto de particular relevancia en el trópico ya que se dispone de las condiciones básicas para producir grandes cantidades de biomasa durante todo el año, logrando mejor eficiencia en la utilización de la energía solar. Estudios realizados con especies nativas del estado de Yucatán han confirmado este potencial de las especies arbóreas (Cuadro 5).

ESPECIE	EDAD DE LOS ÁRBOLES					
	5 AÑOS		8 AÑOS		14 AÑOS	
	*FORRAJE	TALLOS	*FORRAJE	TALLOS	*FORRAJE	TALLOS
<i>Brosimum alicastrum</i>	2.69	1.37	41.78	19.85	55.9	25.9
<i>Piscidia piscipula</i>	3.52	1.86	6.3	4.8	13.0	9.9
<i>Leucaena leucocephala</i>	ND	ND	6.3	2.9	11.29	6.4
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	ND	ND	11.7	6.7	28.0	16.0
<i>Guazuma ulmifolia</i>	4.07	3.98	7.47	7.3	29.0	28.4

ND = no determinado.

\*Se consideró forraje a tallos < 5 mm + hojas.

**CUADRO 5.** Producción de biomasa (kg MS árbol<sup>-1</sup>) para diferentes especies arbóreas.

Es de resaltar la importancia de la producción de biomasa en los sistemas agroforestales, así como los incrementos anuales particularmente en árboles de *G. ulmifolia*, *L. leucocephala* y *B. alicastrum*, que muestran incrementos sustanciales a las diferentes edades de corte. Se estima que si se tuviera una hectárea establecida con 500 árboles de estas especies se podrían obtener producciones de aproximadamente 14.5 ton a 28 ton de forraje en base seca.

La altura de corte es otro factor importante para considerar, en el Cuadro 6 se presenta la disponibilidad de forraje en especies arbóreas a diferentes alturas de corte, se puede apreciar que se encontraron variaciones entre especies y entre alturas de corte.

ESPECIE	ALTURA (M)					
	4 - 6		6 - 8		> 8	
	*FORRAJE	TALLOS	*FORRAJE	TALLOS	*FORRAJE	TALLOS
<i>B. alicastrum</i>	2.69	1.37	41.78	19.85	55.9	25.9
<i>P. piscipula</i>	3.52	1.86	6.3	4.8	13.0	9.9
<i>L. leucocephala</i>	ND	ND	6.3	2.9	11.29	6.4
<i>L. latisiliquum</i>	ND	ND	11.7	6.7	28.0	16.0
<i>G. ulmifolia</i>	4.07	3.98	7.47	7.3	29.0	28.4

ND = no determinado.  
\*Se consideró forraje a tallos < 5 mm + hojas.

**CUADRO 6.** Disponibilidad de forraje (kg MS árbol-1) en especies arbóreas a diferentes alturas de corte.

ESPECIE	MS	PC	FDN	FDA	CEN	Fen	Tan	Lig	DIVMS	DIVMO
<b>HOJAS</b>										
<i>Brosimum alicastrum</i>	41.8	16.9	36.0	28.8	11.6	1.73	0.74	6.8	69.5	75.5
<i>Piscidia piscipula</i>	38.5	18.5	48.1	28.9	12.6	1.8	0.74	14.8	47.9	53.8
<i>Leucaena leucocephala</i>	34.9	26.7	39.5	23.9	7.9	2.4	1.23	10.8	53.6	57.0
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	47.1	21.3	41.8	21.2	7.9	3.7	1.16	11.6	37.3	40.4
<i>Guazuma ulmifolia</i>	32.4	15.5	42.6	25.9	10.9	1.4	1.81	10.7	53.5	59.0
<b>TALLOS</b>										
<i>B. alicastrum</i>	44.5	10.3	67.5	47.1	7.4	0.2	0.27	ND	47.9	50.7
<i>P. piscipula</i>	39.2	9.5	67.4	45.9	9.8	0.8	0.33	ND	44.9	47.4
<i>L. leucocephala</i>	33.3	8.1	72.8	55.0	6.8	0.7	1.18	ND	36.5	38.5
<i>L. latisiliquum</i>	50.8	8.8	67.3	52.7	7.2	3.2	7.3	ND	24.0	25.8
<i>G. ulmifolia</i>	43.5	5.2	71.6	54.1	8.2	1.5	3.52	ND	32.4	35.0

MS= Materia seca, PC= Proteína cruda, FDN= Fibra detergente Neutra, FDA= Fibra detergente ácida, CEN = Cenizas, Fen = Fenoles totales, Tan = Taninos condensados, Lig= Lignina, DIVMS = Digestibilidad in vitro de la materia seca, DIVMO =Digestibilidad in vitro de la materia orgánica. ND = No determinado.

**CUADRO 7.** Composición química (%) de diferentes especies de árboles tropicales.

En relación con la composición química, las especies arbóreas presentan un alto contenido de proteína, *L. leucocephala* presenta un valor por encima del 25%, por otro lado, *B. alicastrum* presenta una excelente DIVMS (69.5%) y DIVMO (75.5%), por encima de la mayoría de los pastos tropicales, además de ser una especie con gran potencial en los sistemas silvopastoriles por su amplia distribución en México y su gran capacidad de adaptación en los trópicos (Cuadro 7).

Los árboles tienen una gran capacidad de producir biomasa, lo que es muy importante dado que la intensificación de la producción deberá estar asociada a la mayor productividad por unidad de área y tiene también una estrecha relación en la producción de alimentos (frutas, semillas y forraje). En términos más generales, la fuente de alimentos que el sistema produce ya sea para la producción animal o la población es muy importante, si su origen está relacionado con utilización más eficiente del agua, la materia orgánica y la luz, lo que determinará la autosuficiencia del sistema productivo y su impacto sobre el medio ambiente.

## REFERENCIAS

- Bacab, H. M., Madera, N. B., Solorio, F. J., Vera, F., & Marrufo, D. F. (2013). Los sistemas silvopastoriles intensivos con Leucaena leucocephala: una opción para la ganadería tropical. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(3).
- Boddey, R. M., de Carvalho, I. D. N., Rezende, C. D. P., Cantarutti, R. B., Pereira, J. M., Macedo, R., ... & Urquiaga, S. (2015). The benefit and contribution of legumes and biological N2 fixation to productivity and sustainability of mixed pastures. In Proceedings of the 1st international conference on forages in warm climates. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG (Vol. 1, pp. 103-140).
- Broom, D. M., Galindo, F. A., & Murgueitio, E. (2013). Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1771), 20132025.
- Casasola F., Ibrahim M., Villanueva M., Tobar D., Sepulveda C., Vega A., (...) Potencial de los diferentes tipos de pasturas presentes en dos zonas agroecológicas de Costa Rica para almacenar y fijar carbono. VII Congreso Latinoamericano de Sistemas Agroforestales para la producción Pecuaria Sustentable. 739-744
- CONAFOR (2018) Causas de los incendios forestales. Gerencia de Manejo del Fuego, marzo, 2018.
- Cuartas Cardona, C. A., Naranjo Ramírez, J. F., Tarazona Morales, A. M., Murgueitio Restrepo, E., Chará Orozco, J. D., Ku Vera, J., ... & Barahona Rosales, R. (2014). Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and mitigation of climate change. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 27(2), 76-94.
- FAO (2017) Livestock Solutions for Climate Change. Roma
- FAO (2018) Ganadería sostenible y cambio climático en América Latina y el Caribe. Roma
- Fisher, M.J.; Rao, I.M.; Ayarza, C.E.; Lascano, C.E.; Sanz, J.I.; Thomas, R.J. y Vera, R.R. 1994. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature*. 31: 236-238
- González Padilla E. (2018) Estado del arte sobre investigación e innovación tecnológica en ganadería bovina tropical. Redgatros, INIFAP, Conacyt.
- INEGI (2017) Anuario estadístico y geográfico de Yucatán 2017.
- IPCC (2014) Cambio climático 2014. Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación Resumen para responsables de políticas. Grupo de Trabajo I contribución del Grupo de Trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D. (eds.)]. 32 pp.
- Jose, S., & Dollinger, J. (2019). Silvopasture: a sustainable livestock production system. *Agroforestry Systems*, 93(1), 1-9.
- Richard M., Arsian A., Cavatassi R. y Rosenstock

- T. (2019) Climate change mitigation potential of agricultural practices supported by IFAD investments: An ex ante analysis. 35 IFAD Research Series IFAD,
- SAGARPA (2018) Estrategia de integración para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad en el sector agrícola (2016-2022). Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. México
- Sarabia, L., Solorio, F. J., Ramírez, L., Ayala, A., Aguilar, C., Ku, J., ... & Boddey, R. M. (2020). Improving the Nitrogen Cycling in Livestock Systems Through Silvopastoral Systems. In Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production (pp. 189-213). Springer, Singapore.
- SEMARNAT (2019) Reporte Semanal Nacional de Incendios Forestales del 01 de enero al 13 de junio de 2019. Programa de Manejo del Fuego. Centro Nacional de Manejo del Fuego. SEMARNAT-CONAFOR.
- Shelton, H. M. (1998). The Leucaena genus: New Opportunities for Agriculture (A Review of Workshop Outcomes). In H. M. Shelton, R. E. Gutteridge, B. F., Mullen, & R. A. Bray (Eds.), Leucaena-Adaptation, quality and farming systems (pp 15-24). Australia: Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR).
- Silanikove, N. (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science*, 67, 1-18.
- TNC (2017) REDD + In Yucatan Peninsula: Joining Forces to Produce and Preserve
- TNC (2018) Yucatan Peninsula Sustainable Rural Development Initiative: Halting deforestation and boosting farming productivity in the Mayan Forest.
- Torres-Acosta, J. F. J., González-Pech, P. G., Ortíz-Ocampo, G. I., Rodríguez-Vivas, I., Tun-Garrido, J., Ventura-Cordero, J., ... & Ortega-Pacheco, A. (2016). Revalorizando el uso de la selva baja caducifolia para la producción de rumiantes. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 19(1), 73-80.

## **MODELO DE INNOVACIÓN EN GANADERÍA SOSTENIBLE**

Para la Península de Yucatán



**UADY**  
UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA  
DE YUCATÁN